



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE
PREPARAÇÃO DE TOPOS DE CORPOS-DE-PROVA
CILÍNDRICOS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO AXIAL**

Gustavo Pretto Marin

Lajeado, novembro de 2019

Gustavo Pretto Marin

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE
PREPARAÇÃO DE TOPOS DE CORPOS-DE-PROVA PARA
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, novembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e a minha Família por me darem as melhores condições possíveis para que eu pudesse fazer este trabalho e me dedicar totalmente a ele sem quaisquer preocupações. Gostaria de agradecer também a minha namorada que soube compreender as minhas ausências em determinados momentos.

Um agradecimento especial ao meu orientador, professor Rafael, que me auxiliou ao longo deste ano de pesquisa me dando as orientações necessárias e corrigindo aquilo que não estava de acordo. Aos demais professores, agradeço a todas as dicas dadas e aproveito também para me desculpar pelas faltas necessárias para colocar o TCC em dia.

A equipe do LATEC, sempre muito atenciosa e disponível, meu muito obrigado. Agradecimento especial à Portland Tecnologia do Concreto que cedeu seu espaço e equipamento para que pudesse complementar minha pesquisa.

Por último, e não menos importante, gostaria de agradecer as duas empresas em que trabalhei durante o período em que realizei esta pesquisa. Por diversas vezes necessitei me ausentar para realizar tarefas deste trabalho. São elas Ximango e Metalbovi.

RESUMO

O controle tecnológico do concreto é imprescindível, tanto quando se fala em segurança das edificações, como no estudo de dosagem para refino de traços. Um dos controles mais conhecidos e executados no Brasil é o ensaio de resistência à compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos. Apesar de ser um ensaio bem difundido, nem sempre o controle do processo é realizado de maneira adequada e as diversas variáveis existentes comprometem a confiabilidade dos resultados. Esta monografia se propõe a avaliar a influência do método de preparo das faces do corpo-de-prova sobre a resistência à compressão dos testemunhos. Para tanto, foram dosados três traços de concreto com fck 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa, sendo que para cada traço foram moldados 50 testemunhos. Foi analisada a influência da retificação vertical e horizontal, do capeamento não aderente com Neoprene de 60 e 70 Shore, além do capeamento aderente com pasta de cimento Portland. Cada método de preparação foi aplicado em 10 testemunhos de cada traço. Os resultados dos rompimentos indicaram que para os grupos com fck 20 MPa e 30 MPa o método mais indicado foi o Neoprene com 60 Shore. Já para o último grupo de fck 40 MPa o método mais indicado foi a retífica vertical, método este que teve bom desempenho também nos dois primeiros grupos.

Palavras-chave: Retífica. Neoprene. Pasta de cimento. Controle tecnológico. Concreto.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Seção polida de um corpo-de-prova | 16 |
| Figura 2 – Relação entre resistência à compressão aos 90 dias e ar incorporado ... | 25 |
| Figura 3 – Tipos de fratura causadas na ruptura..... | 29 |
| Figura 4 – Distribuição de Gauss com nível de confiança de 95%..... | 31 |
| Figura 5 – Fluxograma da dosagem ao rompimento do CP | 35 |
| Figura 6 – Curva de dosagem | 38 |
| Figura 7 – Moldagem dos corpos-de-prova..... | 40 |
| Figura 8 – Preparação com pasta de cimento Portland | 41 |
| Figura 9 - Retífica vertical (esquerda) e retífica horizontal (direita) utilizadas | 42 |
| Figura 10 – Rompimento dos corpos-de-prova | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classes de resistência conforme Grupo I e Grupo II | 20 |
| Tabela 2 – Resultados do Grupo 1 – fck 20 MPa..... | 45 |
| Tabela 3 – Tabela ANOVA para o Grupo 1 - fck 20 MPa..... | 46 |
| Tabela 4 - Resultados do Grupo 2 – fck 30 MPa..... | 48 |
| Tabela 5 - Tabela ANOVA para o Grupo 2 – fck 30 MPa | 50 |
| Tabela 6 - Resultados do Grupo 3 – fck 40 MPa..... | 52 |
| Tabela 7 - Tabela ANOVA para o Grupo 3 – fck 40 MPa..... | 54 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe de cimento Portland | 17 |
| Quadro 2 – Principais fatores com influência no resultado do ensaio de resistência à compressão..... | 23 |
| Quadro 3 – Dureza em Shore indicado para cada resistência | 28 |
| Quadro 4 – Desvio-padrão em função do método de preparo do concreto..... | 32 |
| Quadro 5 - Coeficiente de variação do ensaio | 33 |
| Quadro 6 – Resumo de materiais utilizados em cada traço | 39 |
| Quadro 7 – Contagem por tipos de fraturas no Grupo 1 – fck 20 MPa | 46 |
| Quadro 8 - Contagem por tipos de fraturas no Grupo 2 – fck 30 MPa | 49 |
| Quadro 9 - Contagem por tipos de fraturas no Grupo 3 – fck 40 MPa | 53 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia..... | 36 |
| Gráfico 2 – Distribuição granulométrica da brita..... | 36 |
| Gráfico 3 – Gráfico-resumo dos resultados para o Grupo 1 – fck 20 MPa | 45 |
| Gráfico 4 – Tukey aplicado a média dos resultados para o Grupo 1 - fck 20 MPa.... | 47 |
| Gráfico 5 - Gráfico-resumo dos resultados para o Grupo 2 – fck 30 MPa | 49 |
| Gráfico 6 - Tukey aplicado a média dos resultados para o Grupo 2 - fck 30 MPa..... | 51 |
| Gráfico 7 - Gráfico-resumo dos resultados para o Grupo 3 – fck 40 MPa | 52 |
| Gráfico 8 - Tukey aplicado a média dos resultados para o Grupo 3 - fck 40 MPa..... | 54 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| a/c | Relação água/cimento |
| ARI | Alta Resistência Inicial |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| CP | Corpo-de-prova |
| f_{cj} | Resistência prevista a idade de “j” dias |
| f_{ck} | Resistência característica do concreto |
| f_{cm} | Resistência média do lote |
| LATEC | Laboratório de Tecnologias da Construção |
| M | Relação agregados secos/cimento em massa |
| NBR | Norma Brasileira |
| NM | Norma Mercosul |
| Sh | Dureza Shore |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 Tema..... | 12 |
| 1.2 Delimitação do tema | 12 |
| 1.3 Questão da pesquisa | 12 |
| 1.4 Hipótese..... | 12 |
| 1.5 Objetivos..... | 13 |
| 1.5.1 Objetivo geral | 13 |
| 1.5.2 Objetivos específicos | 13 |
| 1.6 Justificativa do trabalho..... | 13 |
| 1.7 Estrutura do trabalho..... | 14 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 Concreto de cimento Portland | 15 |
| 2.1.1 Composição | 16 |
| 2.1.1.1 Cimento Portland..... | 17 |
| 2.1.1.2 Agregados | 18 |
| 2.1.1.3 Aditivos | 19 |
| 2.1.2 Resistência à compressão..... | 20 |
| 2.1.2.1 Fatores que afetam o resultado do ensaio | 22 |
| 2.1.2.2 Amostragem..... | 23 |
| 2.1.2.3 Moldagem de corpos-de-prova e adensamento..... | 24 |
| 2.1.2.4 Cura e manuseio dos testemunhos | 25 |
| 2.1.2.5 Preparação das faces | 26 |
| 2.1.2.6 Tipos de fratura..... | 29 |
| 2.2 Análise estatística..... | 30 |
| 2.3 Coeficiente de variação do ensaio | 32 |
| 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 34 |
| 3.1 Materiais utilizados..... | 35 |
| 3.2 Métodos | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.1 | Dosagem do concreto | 37 |
| 3.2.2 | Produção do concreto..... | 39 |
| 3.2.3 | Moldagem e cura dos corpos-de-prova | 39 |
| 3.2.4 | Preparo das faces | 40 |
| 3.2.5 | Rompimento..... | 42 |
| 3.2.6 | Análise estatística | 43 |
| 4 | RESULTADOS | 44 |
| 4.1 | Grupo 1 – Concreto de fck 20 MPa | 44 |
| 4.1.1 | Análise de variância | 46 |
| 4.1.2 | Coeficiente de variação do ensaio | 47 |
| 4.2 | Grupo 2 – Concreto de fck 30 MPa | 48 |
| 4.2.1 | Análise de variância | 50 |
| 4.2.2 | Coeficiente de variação do ensaio | 51 |
| 4.3 | Grupo 3 – Concreto de fck 40 MPa | 51 |
| 4.3.1 | Análise de variância | 54 |
| 4.3.2 | Coeficiente de variação do ensaio | 55 |
| 4.4 | Análise qualitativa dos métodos de preparação | 55 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 56 |
| | APÊNDICES | 58 |
| | REFERÊNCIAS..... | 60 |

1 INTRODUÇÃO

O concreto, apesar de não ter sofrido grandes modificações na sua composição principal, teve grandes avanços tecnológicos incorporados nos últimos anos. Desde adições na composição dos cimentos, a aditivos de alto desempenho capazes de melhorar a performance com redução de custos e quantidade de insumos.

Alinhado a todas essas mudanças no concreto, faz-se cada vez mais necessário um alto controle tecnológico que garanta ao cliente, à construtora e aos usuários, a segurança e a qualidade do produto ofertado. Um dos controles tecnológicos mais difundidos na construção civil nacional é o ensaio de resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos.

A escolha deste teste passa pelo seu custo relativamente baixo, necessidade de mão-de-obra de baixa qualificação para confecção dos testemunhos e alta confiabilidade nos resultados apresentados quando o processo e suas variáveis são bem controladas. É neste universo, das variáveis do ensaio, mais especificamente na preparação das faces do corpo-de-prova, que este trabalho se propõe a colaborar, fazendo uma análise embasada em normas vigentes, bibliografia, pesquisas científicas e em uma pesquisa experimental que avaliou a influência dos métodos de preparação no resultado final do ensaio de resistência à compressão em concretos de cimento Portland convencionais.

O controle das variáveis é de extrema importância. Isso se torna mais claro à medida que a resistência à compressão obtida em ensaio aos 28 dias de idade do

testemunho é, na maioria das vezes, a única avaliação que atesta em laudo técnico a qualidade do concreto nas obras.

1.1 Tema

Influência dos diferentes métodos de preparação das faces de um corpo-de-prova cilíndrico de concreto de cimento Portland na sua resistência à compressão axial.

1.2 Delimitação do tema

O trabalho está delimitado na confecção e avaliação da resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos, de dimensão normatizada, aos 28 dias de idade. São avaliadas 5 diferentes variações de preparação, sendo elas: retífica vertical, retífica horizontal, com pasta de cimento Portland e, 2 tipos de discos de Neoprene de durezas distintas. Optou-se por não aplicar o método de preparação da face com enxofre por conta dos riscos à saúde e a diminuição do seu uso associado a estes riscos.

1.3 Questão da pesquisa

Há influência na mensuração da resistência mecânica à compressão axial nos corpos-de-prova de concreto convencional por conta do método utilizado na preparação das faces dos testemunhos?

1.4 Hipótese

A agressividade do desbaste das retíficas pode gerar uma tensão elevada no corpo-de-prova acarretando perda de desempenho durante o ensaio. Já o neoprene, se muito dúctil, pode majorar o resultado do ensaio por conta de um possível confinamento lateral nas bordas do testemunho dentro dos pratos de contenção.

1.5 Objetivos

A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo.

1.5.1 Objetivo geral

Avaliar a influência do método de preparação do topo de corpos-de-prova cilíndricos de concreto de cimento Portland no resultado do ensaio de compressão axial.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) fazer uma análise qualitativa dos métodos de preparação;
- b) determinar o método de preparação do testemunho com o menor desvio-padrão para cada resistência característica;
- c) caracterizar os materiais utilizados;
- d) realizar o slump test de cada traço rodado.

1.6 Justificativa do trabalho

A construção civil passa por uma fase de industrialização de seus processos, se afastando cada vez mais de métodos artesanais e aproximando-se de técnicas com maior eficiência e agilidade. Consonante a esta questão, é necessário que o controle tecnológico seja capaz de validar tais procedimentos de maneira segura e confiável. Este estudo parte do princípio de quão importante é estar em constante avaliação de nossas práticas e avaliação de sua confiabilidade.

1.7 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo consiste em uma apresentação introdutória ao contexto do ensaio de resistência à compressão axial. Integra também a proposição do problema, hipótese e objetivos.

O segundo capítulo compreende a revisão de literatura acerca do controle tecnológico do concreto com foco no ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de acordo com a NBR 5739, que irão fundamentar o método, os resultados, as discussões e as conclusões pertinentes ao tema.

O terceiro capítulo detalha a metodologia utilizada e materiais utilizados ao longo da pesquisa.

O quarto capítulo, incide na apresentação e discussão dos resultados encontrados.

O quinto capítulo contempla as considerações finais do estudo, sintetizando as conclusões e considerações pertinentes aos resultados encontrados.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas consultadas para a fundamentação teórica do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto de cimento Portland

A rocha é considerada um dos primeiros materiais construtivos, havendo relatos do seu uso há quase 5 mil anos atrás pelos egípcios. Foi explorada ao redor do mundo como principal material construtivo até o desenvolvimento do aço durante a Revolução Industrial no ano de 1750, no que é considerado por Helene e Andrade (2010) como a segunda grande revolução na arte de projetar, pois, possibilitou a concepção de grandes vãos visando principalmente seu uso em pontes. O desenvolvimento do concreto armado de cimento Portland é colocado, pelos mesmos autores, como a terceira grande revolução na arte de construir.

Cimento, água, brita e areia são quatro componentes que, combinados, revolucionaram o modo de construir a partir do final do século XIX. Estabelecido hoje, como o segundo material mais consumido no mundo, ficando somente atrás da água, o concreto de cimento Portland se tornou parte fundamental da história recente da humanidade (HELENE; ANDRADE, 2010).

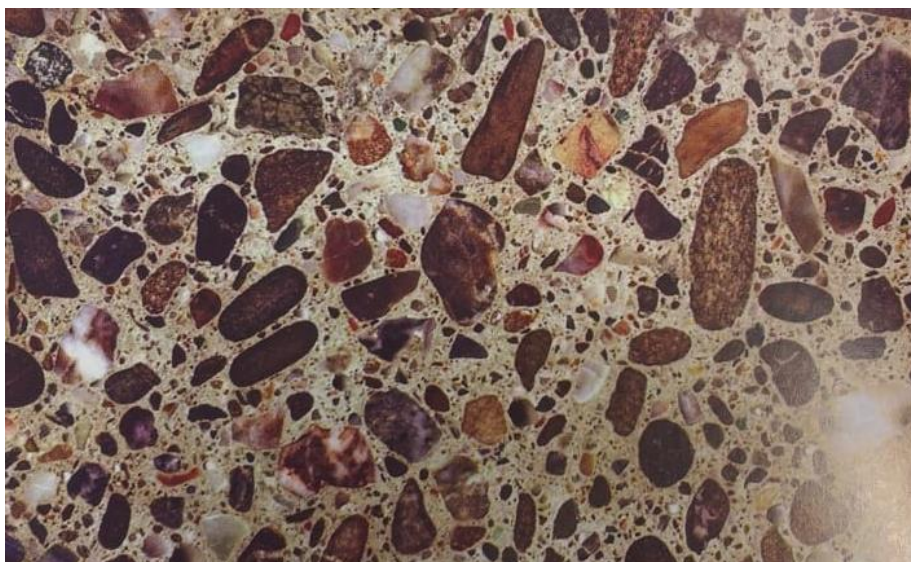
Neville e Brooks (2013) trazem o concreto e o aço como dois materiais que, apesar de se complementarem, em outros momentos competem entre si, de maneira que as mais diversas estruturas podem ser concebidas a partir de qualquer um dos dois materiais. Mehta e Monteiro (2014) relatam razões pelas quais o concreto de cimento Portland é mais utilizado que o aço, visto que a liga metálica possui maior controle produtivo e, em muitas ocasiões, melhor desempenho.

A primeira razão apontada pelos autores é a de que o concreto possui alta resistência à deterioração causada pela água, o que o torna um material ideal para obras hidráulicas como barragens, aquedutos e cisternas. A segunda razão trazida, é a facilidade com que elementos estruturais de concreto são moldados visto a sua fluidez durante o estado fresco. A terceira, e não menos importante característica, é o baixo custo e a alta disponibilidade dos materiais componentes ao redor do mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.1.1 Composição

O concreto de cimento Portland deve possuir basicamente o aglomerante, a água e os agregados grão e miúdo (FIGURA 1), além de possíveis adições, sendo que suas proporções buscam atender as mais diversas demandas mecânicas, químicas e físicas (HELENE; ANDRADE, 2010). Conhecer tais componentes é fundamental para que se faça um entendimento adequado das características apresentadas pelo concreto.

Figura 1 – Seção polida de um corpo-de-prova



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

2.1.1.1 Cimento Portland

Segundo Oliveira (2015), o cimento Portland é produto da pulverização de *clinker*, que por sua vez, trata-se da calcinação de silicatos e sulfato de cálcio em temperaturas de fusão incipiente. A esta mistura, normalmente são feitas adições para obtenção de determinadas propriedades físicas e químicas no cimento. Basicamente o cimento Portland é constituído de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro.

Mehta e Monteiro (2014) explicam que variando as proporções das adições ao cimento, é possível alterar as características de desenvolvimento da resistência do concreto, isto se deve ao fato de que as adições feitas ao cimento, possuem taxas de reatividade diferentes. Ainda segundo os autores, outro fator a influenciar na velocidade com que o concreto adquire resistência é a finura do cimento utilizado, esta é uma característica observada no cimento CP V ARI.

A NBR 16697 (ABNT, 2018) designa os cimentos Portland conforme as adições nele presente e propriedades especiais, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe de cimento Portland

| Designação normalizada (tipo) | Subtipo | Sigla | Classe de resistência | Sufixo |
|--|-------------------------------------|---------|-----------------------|----------|
| Cimento Portland comum | Sem adição | CP I | 25, 32 ou 40 | RS ou BC |
| | Com adição | CP I-S | | |
| Cimento Portland composto | Com escória granulada de alto forno | CP II-E | | |
| | Com material carbonático | CP II-F | | |
| | Com material pozolânico | CP II-Z | | |
| Cimento Portland de alto-forno | | CP III | | |
| Cimento Portland pozolânico | | CP IV | | |
| Cimento Portland de alta resistência inicial | | CP V | ARI | |
| Cimento Portland branco | Estrutural | CPB | 25, 32 ou 40 | |
| | Não estrutural | CPB | - | |

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018, p. 4)

O cimento e a água formam uma pasta fluída que deve envolver os agregados produzindo um material que, nas primeiras horas, apresenta-se moldável às mais diversas formas geométricas e que após um determinado tempo, endurece devido a

uma reação química irreversível entre a água e o cimento. A sua fluidez durante o estado fresco, como é chamado o período em que o concreto permanece moldável, está diretamente ligada à relação água/cimento (a/c). Quanto maior a quantidade de água na proporção, maior tende a ser a sua fluidez (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.1.1.2 Agregados

A NBR 9935 (ABNT, 2011, p. 2) que trata sobre a terminologia dos agregados, classifica o agregado como “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto”. Setenta e cinco por cento do volume do concreto tende a ser de agregados, afetando, desta maneira, não só a resistência característica, mas também a sua durabilidade e o desempenho estrutural (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Agregados graúdos, conforme a NBR 9935 (ABNT, 2011) são aqueles cujos grãos são retidos pela peneira de abertura de malha igual a 4,75 mm e passam pela peneira com malha de abertura 75 mm. Já os agregados miúdos são aqueles que ultrapassam a peneira de abertura de malha 4,75 mm e possuem grãos com dimensões maiores que 150 μ m, atendidos os requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Os agregados, gerando maior volume por um preço geralmente menor do que o do cimento, são comumente vistos como uma maneira de diminuir a quantidade necessária de aglomerante para cada m^3 de concreto e, conseqüentemente, o custo. Entretanto, Neville (2016) e Mehta e Monteiro (2014) salientam a importância da seleção adequada dos agregados de acordo com as suas propriedades físicas e químicas visto que, podem gerar concretos com características totalmente distintas, evitando sempre negligenciar tais aspectos.

A principal influência dos agregados está na zona de transição, região de contato entre a pasta de cimento e as partículas de agregado, sendo geralmente a fase mais fraca do concreto. Para esta zona, quanto maior for o agregado e sua forma, menor será a quantidade de água necessária para amassamento e ainda, quanto maior a rugosidade, maior tende a ser a resistência nas primeiras idades (MEHTA; MONTEIRO 2014).

2.1.1.3 Aditivos

Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos são produtos adicionados ao concreto durante sua preparação, em quantidades não maiores que 5% sobre a massa de cimento e que possuem o objetivo de potencializar ou modificar propriedades do concreto, em estado fresco ou endurecido. Mehta e Monteiro (2014) destacam a variedade de composições e propósitos dos aditivos utilizados atualmente e a elevada aplicabilidade, chegando a estarem presentes em cerca de 70 a 80% dos concretos produzidos em determinados países.

A norma ASTM C 494-10 (ASTM, 2016) que trata da especificação de aditivos químicos ao concreto, classifica os aditivos conforme sua função:

- a) tipo A: Redutor de água;
- b) tipo B: Retardador de pega;
- c) tipo C: Acelerador de pega;
- d) tipo D: Redutor de água e retardador;
- e) tipo E: Redutor de água e acelerador;
- f) tipo F: Redutor de água de elevado desempenho ou superplastificante;
- g) tipo G: Redutor de água de elevado desempenho e retardador ou superplastificante e retardador;
- h) tipo S: Desempenho específico.

Neville (2016) explica que o aumento no uso de aditivos está associado tanto ao enorme potencial dos produtos em termos econômicos, quanto na maior amplitude de aplicação do concreto em condições mais adversas ao seu emprego. Os retardadores de pega, por exemplo, possibilitam um aumento considerável nas distâncias percorridas por caminhões betoneira, já os superplastificantes trazem uma redução drástica na quantidade de água de amassamento sem afetar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e sua resistência (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.1.2 Resistência à compressão

Mehta e Monteiro (2014) definem resistência como a capacidade de um determinado material em resistir à uma tensão sem que ocorra a ruptura. Consonante aos autores, Neville (2016) traz a resistência do concreto como a sua característica mais valorizada, embora, em inúmeras situações reais, durabilidade e permeabilidade possam se tornar primordiais.

Em concretos adequadamente adensados, a relação a/c é fator preponderante na determinação da resistência do concreto em seu estado endurecido. Entretanto, é necessário salientar que, diversas variáveis como as condições de cura, características dos agregados, qualidade dos materiais utilizados, aditivos e adições exercem uma importante influência na resistência final do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2016; HELENE; ANDRADE, 2010).

A NBR 8953 (ABNT, 2015) que trata de concretos para fins estruturais classifica-os em 2 grupos de resistência característica: Grupo I e Grupo II (TABELA 1). Os mesmos são divididos conforme a sua resistência característica à compressão (f_{ck}), medida em MPa (Megapascal).

Tabela 1 – Classes de resistência conforme Grupo I e Grupo II

| Grupo I | Resistência característica à compressão (Mpa) | Grupo II | Resistência característica à compressão (Mpa) |
|---------|---|----------|---|
| C10 | 10 | C55 | 55 |
| C15 | 15 | | |
| C20 | 20 | C60 | 60 |
| C25 | 25 | | |
| C30 | 30 | C70 | 70 |
| C35 | 35 | | |
| C40 | 40 | | |
| C45 | 45 | C80 | 80 |
| C50 | 50 | | |

Fonte: Adaptado de NBR 8953 (ABNT, 2015)

Neville (2016) classifica os ensaios basicamente em: destrutivos, no qual o testemunho é danificado no ensaio e está restrito a somente uma avaliação e, não

destrutivos, que permitem a realização de novos ensaios no mesmo corpo-de-prova sem que o seu resultado tenha sido comprometido pelo antecessor. Toma-se a compressão axial como um exemplo de ensaio destrutivo.

Entre diversos parâmetros de determinação da qualidade do concreto, o mais utilizado no Brasil, e objeto de estudo deste trabalho, é o ensaio de compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos, normalizado pela NBR 5739. Para Neville (2016), o resultado obtido no ensaio de resistência à compressão axial deve ser classificado como a resistência potencial do concreto, sendo a resistência real, apenas aquela encontrada na estrutura.

Na grande maioria dos casos, a idade referência de ruptura dos testemunhos é de 28 dias. Segundo Neville (2016) e Araújo (2003) estabelece-se que, passados 28 dias, o concreto já possui a hidratação adequada e, se convencionava ainda, que a estrutura deverá estar carregada a esta data. É notável também que, para as idades múltiplas de 7, tem-se o rompimento exatamente no mesmo dia da semana em que o testemunho foi moldado, sendo assim, normalmente um dia útil.

O ensaio é feito a partir de exemplares da amostra retirada do volume total do concreto. Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), que trata do preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto, amostra é um certo volume de concreto retirado de um lote, fornecido ou produzido. Ela é retirada com o objetivo de determinar, a partir de ensaios, características do lote para determinar a aceitação, ou não, do concreto. Já o exemplar, trata-se de um elemento da amostra, constituído por no mínimo dois testemunhos que, moldados no mesmo ato, serão rompidos com a mesma idade.

A NBR 12655 (ABNT, 2015) define ainda que a resistência adotada para o exemplar será a de maior valor encontrada dentre os dois testemunhos rompidos. A determinação da resistência à compressão do corpo-de-prova, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), é feita a partir da Equação 1:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão (MPa);

F é a Força máxima de ensaio (N);

D é o diâmetro do testemunho (mm).

2.1.2.1 Fatores que afetam o resultado do ensaio

A resistência encontrada ao final deste ensaio é de extrema importância pois possui relação direta com o papel desempenhado pelo concreto na estrutura das edificações. Entretanto, diversas variáveis exercem influência no seu resultado, destacando-se a maneira como é feita a amostragem, moldagem, cura e preparo do topo dos testemunhos e, as variáveis de ensaio, como a precisão da prensa hidráulica e a velocidade com que a carga é aplicada. Por isso, é tão importante que as normas sejam fielmente seguidas (NEVILLE, 2016).

O Quadro 2 é originado de uma pesquisa realizada por Helene apud Mascolo (2012) onde o autor estimou a influência de variáveis de materiais, mão-de-obra, equipamento e procedimentos na resistência à compressão de amostras de cubo de concreto medidas no ensaio de controle. Destaca-se a alta interferência do adensamento inadequado e preparo dos topos do testemunho, que chegam à casa de 50% de minoração do resultado obtido.

Quadro 2 – Principais fatores com influência no resultado do ensaio de resistência à compressão

| Causas da variação | | Efeito máximo no resultado |
|------------------------|--|----------------------------|
| Materiais | Variabilidade da resistência do cimento | $\pm 12\%$ |
| | Variabilidade da quantidade total de água | $\pm 15\%$ |
| | Variabilidade dos agregados | $\pm 8\%$ |
| Mão-de-obra | Variabilidade do tempo e procedimento de mistura | - 30% |
| Equipamento | Ausência de aferição das balanças | - 15% |
| | Mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias, etc. | - 10% |
| Procedimento de ensaio | Coleta imprecisa | - 10% |
| | Adensamento inadequado | - 50% |
| | Cura (efeito considerado a 28 dias ou mais) | $\pm 10\%$ |
| | Remate inadequado dos topos (concavidade) | - 30% |
| | Remate inadequado dos topos (convexidade) | - 50% |
| | Ruptura (velocidade de carregamento) | $\pm 5\%$ |

Fonte: Helene apud Mascolo (2012).

2.1.2.2 Amostragem

A amostragem do concreto independentemente de sua origem ser a betoneira, caminhão betoneira ou ao final da tubulação de bombeamento, deve ser feita conforme as diretrizes da NBR NM 33 (ABNT, 1998). Esta norma especifica o volume, a frequência e o momento em que as amostras devem ser extraídas do montante principal para que, os resultados reflitam de maneira mais aproximada possível o estado real do concreto.

Diversos estudos como o de Mascolo (2012) e Borges (2009) avaliam a influência do método de amostragem nas características do concreto, encontrando variabilidade na concentração de agregados, abatimento e resistência à compressão. Tais variações, avaliam os autores, são originadas no controle produtivo entre empresas fornecedoras, fatores climáticos não estimados nas pesquisas e no procedimento em si. Mascolo (2012) destaca ainda que, conforme os resultados

obtidos, não foi possível afirmar que uma amostragem feita em caminhões betoneira na porção intermediária da carga, possuirá a melhor representatividade do lote quando se trata de resistência à compressão, em discordância ao que se apresenta na NBR NM 33 (ABNT, 1998).

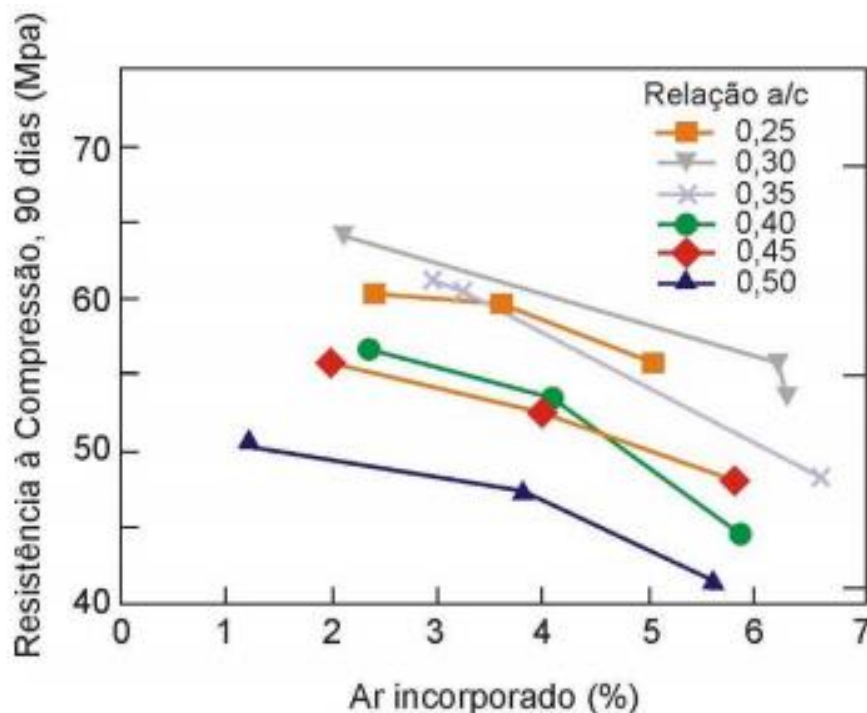
2.1.2.3 Moldagem de corpos-de-prova e adensamento

A moldagem dos corpos-de-prova e o seu correto adensamento deve ser feito conforme o especificado na NBR 5738 (ABNT, 2015). Ela apresenta os tipos de moldes, formatos em que os testemunhos podem ser moldados e os requisitos mínimos de controle no processo para que os resultados possuam validade.

Os moldes devem ser preenchidos com concreto no número de camadas determinadas na norma, utilizando uma concha em formato U. É necessário observar a homogeneização do concreto antes da moldagem e o método de adensamento depende de seu abatimento, podendo ser mecânico (com mesa vibratória) ou manual (com haste) (NBR 5738, ABNT, 2015). Souza (2006) identificou em seu estudo, perdas de até 10% na resistência à compressão, associado à simples não calafetação dos moldes antes de seu uso.

O adensamento deve homogeneizar o testemunho retirando o ar aprisionado nas camadas mais baixas do concreto, minimizando os efeitos do número de vazios na resistência, conforme observado na Figura 2 (PINTO; HOVER, 2001). Neto e Coelho (2016), ao compararem um grupo de corpos-de-prova bem adensados com outro grupo de testemunhos mal adensados, encontraram resultados de resistência à compressão 27% menores para o segundo grupo.

Figura 2 – Relação entre resistência à compressão aos 90 dias e ar incorporado



Fonte: Pinto e Hover (2001)

Ainda, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), independentemente do método de adensamento, após a última camada é necessário fazer o rasamento da superfície com uma régua metálica ou colher de pedreiro. A mesma norma recomenda moldar os testemunhos no local de cura dos mesmos, para que não haja manuseio após a moldagem.

2.1.2.4 Cura e manuseio dos testemunhos

Cura é o nome dado aos procedimentos adotados para hidratação do cimento durante sua idade inicial e é essencial para que se alcance e preserve a resistência característica projetada para o concreto. O tempo e a umidade durante o período de cura são os principais fatores envolvidos e afetam diretamente a resistência à compressão do concreto (NEVILLE, 2016; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A NBR 5738 (ABNT, 2015) define os procedimentos a serem adotados no Brasil para a cura de corpos-de-prova. Os testemunhos moldados, com o intuito de verificação da qualidade e uniformidade do concreto durante a construção, devem ser

desmoldados após as 24 horas iniciais e acondicionados em câmara úmida ou imersos em solução saturada de cal.

Silva (2009) e Bresolin (2016) encontraram nos testemunhos submersos em água saturada de cal, apesar de um leve retardo no desenvolvimento de resistência mecânica durante os primeiros 7 dias, os melhores resultados de resistência à compressão aos 28 dias de cura. Mehta e Monteiro (2014), ao compararem concretos curados em clima quente e frio, descobriram que em temperaturas superiores a resistência inicial é maior devido a hidratação precoce do concreto, já em temperaturas amenas a resistência final alcança valores superiores ao clima quente.

2.1.2.5 Preparação das faces

A preparação das faces dos testemunhos é imprescindível para realização do ensaio à compressão. A NBR 5738 (ABNT, 2015) exige que a planicidade das bases dos corpos-de-prova tenha uma falha limite de 0,05 mm. Neville (2016) indica três maneiras de realizar esta preparação: capeamento aderente, retificação ou a utilização de um material de apoio capaz de regularizar e transmitir as forças oriundas da prensa uniformemente por toda a face do testemunho.

Conforme o Quadro 2, citado anteriormente neste estudo, o remate inadequado das faces pode reduzir a resistência potencial do concreto pela metade, comprometendo qualquer análise das amostras e a verificação da qualidade do concreto.

2.1.2.5.1 Capeamento com camada aderente

O capeamento com pasta de cimento Portland está previsto na NBR 5738 (ABNT, 2015), desde que este garanta total aderência ao testemunho, seja compatível quimicamente com o concreto e, entre outras observações, possua uma espessura máxima de 3 mm em cada uma de suas faces. Neville (2016) afirma que capeamentos com resistências muito superiores à do concreto ensaiado podem acarretar em um aumento de até 11% na resistência encontrada com o ensaio. O autor associa tal fenômeno a restrição transversal forçada pelo capeamento aderido.

No estudo de Silva (2009), o capeamento de pasta de cimento não obteve o percentual mínimo de confiança para aceitação das médias em um concreto de f_{ck} 20 MPa, o que é contraposto no mesmo estudo quando o método foi aplicado a um concreto de f_{ck} 35 MPa e obteve desempenho satisfatório.

Apesar de diversos estudos indicarem o uso de pasta de enxofre como uma alternativa eficiente, tanto nos resultados à compressão como na agilidade de preparo das bases do corpo-de-prova, o seu desuso é cada vez maior. Isto se dá em virtude da liberação de gases tóxicos durante o seu preparo e a falta de estrutura, na grande maioria dos laboratórios, para controle do ar e também destino adequado para descarte do material.

2.1.2.5.2 Capeamento com Neoprene

A utilização de discos de Neoprene em ensaios de resistência à compressão para corpos-de-prova cilíndricos cresceu na última década, porém o seu uso vem diminuindo atualmente. Isto pode ser explicado pela grande variabilidade de resultados obtidos em estudos que avaliam a sua confiabilidade, causando incerteza quanto à validade dos ensaios realizados. O uso do Neoprene tem validade no Brasil subentendido na NBR 5738 (ABNT, 2015) quando, no item 9.3.2.4, a norma aprova o uso de outros processos de preparação, desde que estes sejam submetidos a estudos que comparem seu resultado ao de processos tradicionais. Já, nos Estados Unidos, o Neoprene é normalizado pela ASTM C1231/ C1231M (ASTM, 2015), que permite o uso de discos de Neoprene para testes de testemunhos cilíndricos de concreto com f_{ck} superior a 10 MPa e inferior a 80 MPa, intervalo de resistência compatível ao que será utilizado neste estudo. A norma prevê ainda a dureza nominal do Neoprene para determinados intervalos de resistência do concreto (QUADRO 3).

Quadro 3 – Dureza em Shore indicada para cada resistência

| Resistência à compressão do CP (MPa) | Dureza Shore |
|--------------------------------------|--------------|
| 10 a 40 | 60 |
| 17 a 50 | 60 |
| 28 a 50 | 70 |
| 50 a 80 | 70 |
| Acima de 80 | Não indicado |

Fonte: Adaptado de ASTM C1231/ C1231M (ASTM, 2015)

No estudo de Silva (2009), o uso de Neoprene acarretou em uma redução na resistência de ensaio entre 11% e 12% em comparação à retificação do corpo-de-prova. Já Chies et al. (2013), não encontraram discrepâncias significativas quando comparado o capeamento com Neoprene à retífica, salientando apenas um alto índice de ocorrência de fraturas do tipo F, descritas posteriormente no item 2.1.2.6, o que poderia indicar uma subutilização da capacidade total do concreto.

2.1.2.5.3 Sistema de desgaste mecânico

Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), o sistema de desgaste mecânico consiste na utilização de uma retífica vertical ou horizontal, para desbastar uma pequena camada do testemunho até que sua face esteja dentro da planicidade exigida em norma. Mascolo (2012) salienta que a qualidade do processo depende da velocidade imprimida e a espessura de cada camada removida, sendo necessário grande cuidado para que o fator humano não influencie no resultado da retificação.

Superfícies côncavas ou convexas são extremamente prejudiciais ao ensaio, causando grandes variações na resistência, pois comprometem o contato de 100% da face com os discos da prensa hidráulica. A angulação das faces do testemunho, apesar de não ser tão prejudicial quanto o problema anterior, também minora os resultados pois prejudica a perpendicularidade da aplicação da carga pelo aparelho em relação ao corpo-de-prova (NEVILLE, 2016; MASCOLO, 2012).

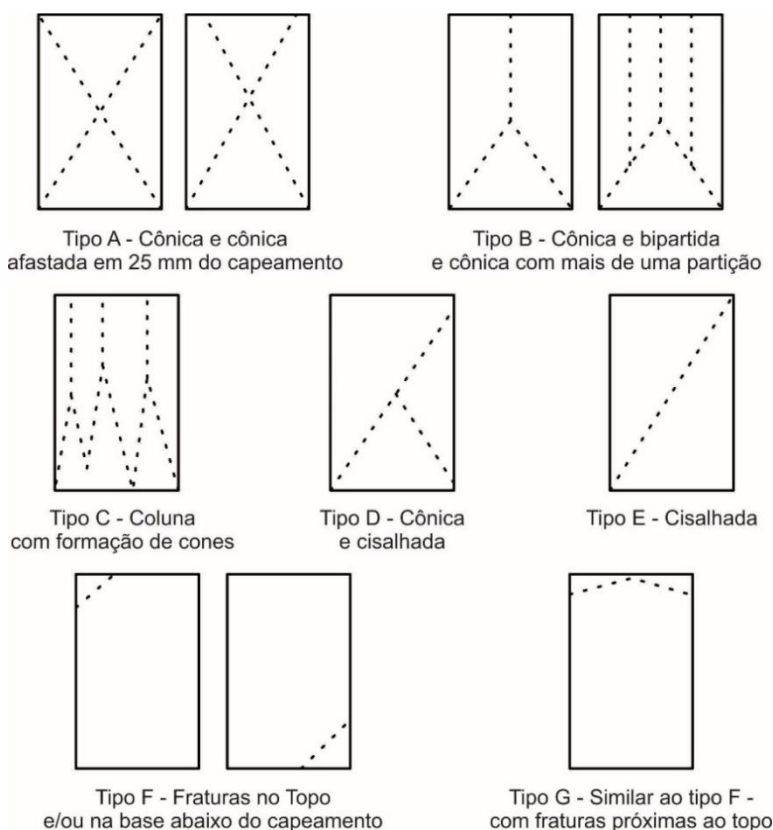
Silva (2009) e Chies et al. (2014) afirmam que a retífica das bases, de acordo com os seus estudos, é a maneira mais adequada de preparação dos testemunhos quando analisada a sua influência na resistência à compressão. Chies (2011) em um

estudo anterior, comparou ainda a diferença na utilização de retílicas de corte vertical e horizontal, encontrando os resultados mais uniformes na utilização da retífica vertical.

2.1.2.6 Tipos de fratura

O ensaio à compressão é finalizado à medida que as fissuras internas do concreto tenham atingido tal estado que o corpo-de-prova tenha suportado sua carga máxima (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A ruptura total do testemunho gera diferentes tipos de fratura, conforme visto na Figura 3, e estas, indicam certas características que podem afetar o resultado do ensaio.

Figura 3 – Tipos de fratura causadas na ruptura



Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018)

Segundo Resende (2016), a ruptura ideal é a de Tipo A, na qual a força é distribuída ao longo de toda a face do testemunho, causando uma ruptura em forma de ampulheta, o que indica quase que total aproveitamento do potencial do corpo-de-prova. São confiáveis ainda, os ensaios onde o CP sofre uma fratura no plano

diagonal, pois o cisalhamento sempre ocorre em planos inclinados em relação à força que está sendo aplicada. Por último, é destacado que rupturas no topo ou em pé, indicam que provavelmente o resultado deva ser descartado. Isto pode ocorrer devido à má preparação das faces do testemunho, bem como uma segregação ou exsudação em excesso.

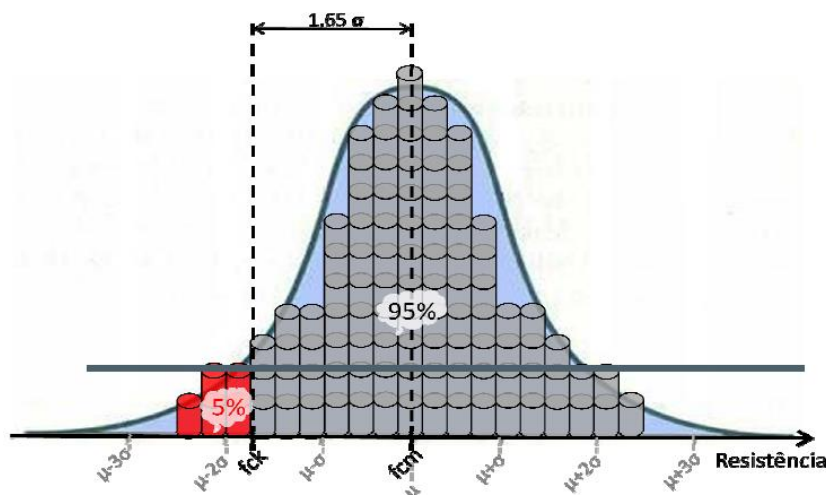
2.2 Análise estatística

Helene (1986) explica que a média simples dos resultados obtidos com o rompimento dos corpos-de-prova não é suficiente para indicar a resistência potencial do concreto. É necessário considerar a dispersão dos resultados através de uma análise do desvio-padrão (σ), uma das maneiras mais usuais é através da distribuição normal ou de Gauss.

Segundo Mascolo (2012), a distribuição de Gauss tem o formato do perfil de um sino que é simétrico em relação ao seu eixo central e, que é determinado pela média dos valores estudados. O desvio-padrão determina a largura desta distribuição, indicando que quanto mais dispersos são os resultados em relação à média (μ), maior será a largura deste sino.

Conforme Helene (1986) e Mascolo (2012) o valor de resistência característica do concreto é aquele que ocorre em 95% das vezes, ou seja, existe uma possibilidade de apenas 5 em cada 100 vezes a resistência estipulada não ocorrer dentro do lote estudado (FIGURA 4).

Figura 4 – Distribuição de Gauss com nível de confiança de 95%



Fonte: adaptado por Mascolo (2012).

O valor de $1,65\sigma$ corresponde a 95% das amostras, já o valor μ , que pode ser adotado como a resistência média do lote (f_{cm}), é utilizado também como resistência de dosagem (f_{ck}) a “j” dias de idade, normalmente adotado como 28 dias (MASCOLO, 2012).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) determina que o desvio-padrão do concreto pode ser estabelecido de duas maneiras. O primeiro método permite que, mediante condições de preparo e equipamentos similares, o desvio-padrão possa ser fixado através de 20 resultados consecutivos, obtidos de concretagens realizadas no período máximo de 30 dias.

O segundo método determina o valor σ através da análise das condições de preparo do concreto. É dividido em 3 grupos e deve seguir algumas restrições que são apresentadas no Quadro 4. Porém, em hipótese alguma, tanto para o primeiro como para o segundo método, deve-se adotar um valor inferior a 2,0 MPa.

Quadro 4 – Desvio-padrão em função do método de preparo do concreto

| Condição de preparo do concreto | Desvio-padrão MPa | Método utilizado |
|---------------------------------|-------------------|---|
| A | 4,0 | Cimento e agregados dosados em massa, água medida em massa ou dispositivo dosador sendo corrigida de acordo com a umidade dos agregados (Todas as classes de concreto). |
| B | 5,5 | Cimento medido em massa, agregados medidos em massa combinada ao volume, água medida em volume (Classes C10 e C20). |
| C | 7,0 | Cimento medido em massa, agregados e água medidos em volume e água corrigida em função de estimativa da umidade dos agregados (Classes C10 e C15). |

Fonte: Adaptado de NBR 12655 (ABNT, 2015)

2.3 Coeficiente de variação do ensaio

A NBR 5739 (ABNT, 2018) indica que os ensaios sejam procedidos de uma análise que busca indicar a qualidade dos procedimentos adotados ao longo da amostragem, moldagem, cura, preparação e rompimento dos corpos-de-prova. A Equação 2 calcula o desvio padrão do grupo estudado.

$$S_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{d_2 \times n} \quad (2)$$

Onde:

S_e é o desvio padrão (MPa);

A_i é a amplitude de valores de resistência (MPa);

n é o número de exemplares da amostra (un);

d_2 é o coeficiente tabelado que depende do número de CP moldados.

A partir do desvio padrão encontrado é possível estipular o coeficiente de variação, através da Equação 3:

$$cv_e = \frac{S_e}{f_{cm}} \quad (3)$$

Onde:

CV_e é o coeficiente de variação do ensaio;

S_e é o desvio padrão (MPa);

f_{cm} é a resistência média (MPa);

O resultado de CV_e encontrado é aplicado ao Quadro 5, definindo o nível da qualidade do ensaio variando de deficiente a excelente.

Quadro 5 - Coeficiente de variação do ensaio

| Coeficiente de variação (CV_e) | | | | |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Nível 1 (Excelente) | Nível 2 (Muito bom) | Nível 3 (Bom) | Nível 4 (Razoável) | Nível 5 (Deficiente) |
| $cv_e \leq 3,0$ | $3,0 < cv_e \leq 4,0$ | $4,0 < cv_e \leq 5,0$ | $5,0 < cv_e \leq 6,0$ | $cv_e > 6,0$ |

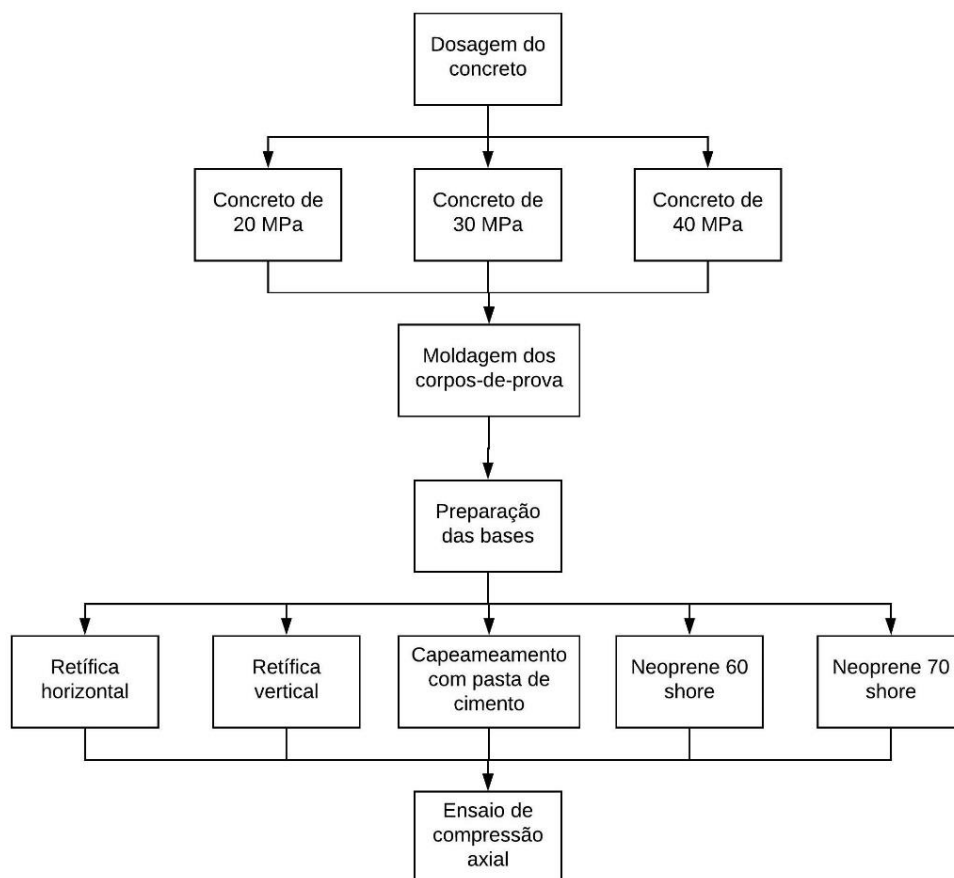
Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Estão apresentados neste capítulo os métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, tendo como embasamento os conhecimentos teóricos. Para que os objetivos propostos fossem atingidos, o método utilizado neste estudo foi a experimentação por ensaio, onde foram comparados os resultados obtidos em três diferentes traços de concreto e cinco tipos de preparações das bases para o ensaio de compressão axial. A resistência dos corpos-de-prova foi aferida aos 28 dias de sua moldagem.

A Figura 5 apresenta um fluxograma que resume as etapas de dosagem, moldagem e preparação dos testemunhos até sua ruptura. Foram moldados 10 corpos-de-prova para cada combinação de método de preparação e traço de concreto. Os traços foram dosados de maneira a obter f_{ck} igual a 20, 30 e 40 MPa, calculados através do método de dosagem IPT/EPUSP. As bases dos testemunhos foram preparadas através de retífica horizontal, retífica vertical, capeamento aderente com paste de cimento e, capeamento não aderente com disco de Neoprene 60 Shore e Neoprene 70 Shore.

Figura 5 – Fluxograma da dosagem ao rompimento do CP



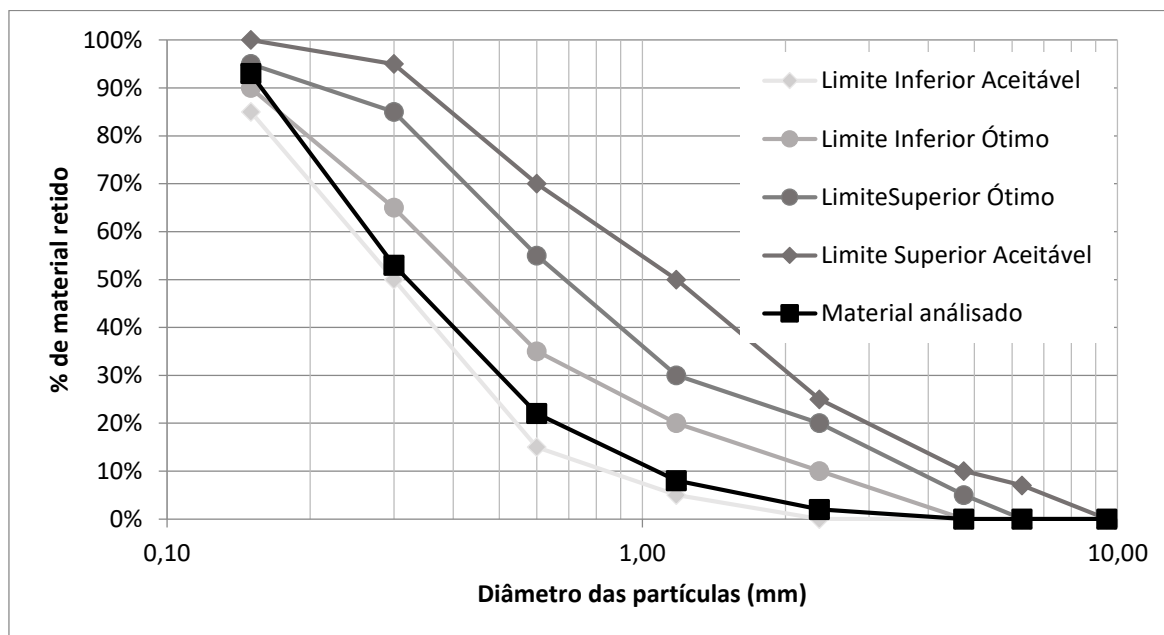
Fonte: Autor (2019)

3.1 Materiais utilizados

Para dosagem do concreto foram utilizados os agregados gráudo e miúdo disponíveis no Vale do Taquari. Os materiais foram caracterizados quanto a sua massa específica e distribuição granulométrica conforme as normas pertinentes.

O ensaio de granulometria do agregado miúdo, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), gerou a curva granulométrica apresentada no Gráfico 1, indicando uma areia fora da zona ótima, porém dentro dos limites aceitáveis para uso. Comportamento já esperado baseado em estudos anteriores onde a mesma areia foi caracterizada.

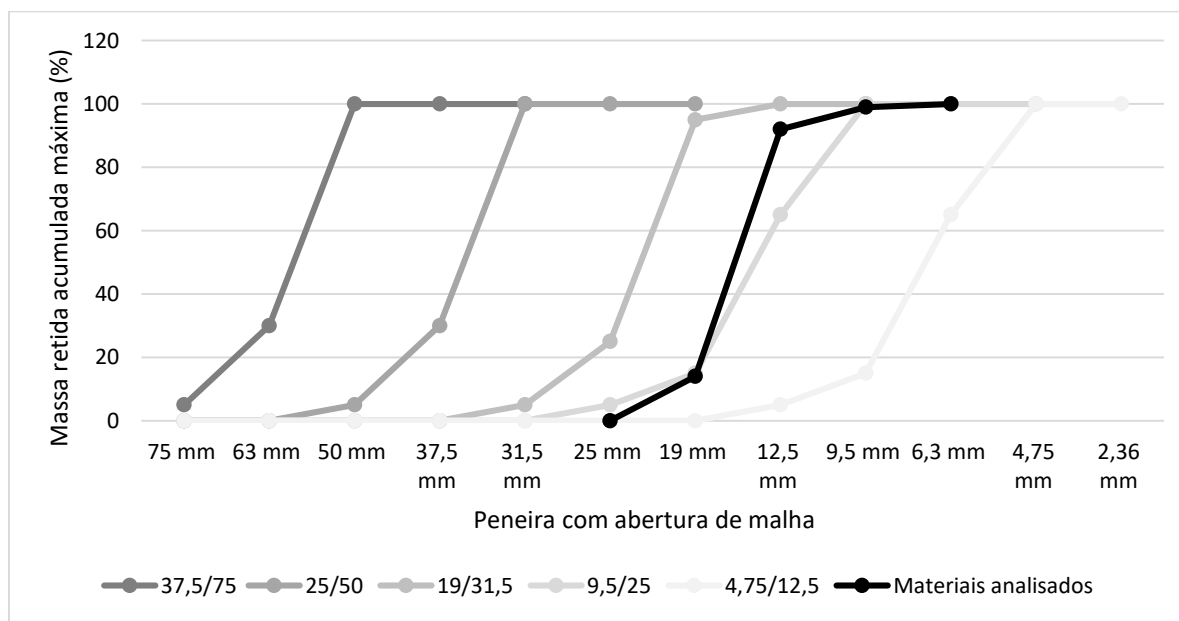
Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia



Fonte: Autor (2019)

Conforme a mesma norma, o Gráfico 2 apresenta a distribuição granulométrica da brita utilizada no concreto. A curva se aproxima da 9,5/25 que indica uma brita 1, porém o material utilizado apresenta uma retenção de massa superior ao normal na peneira de abertura 12,5 mm.

Gráfico 2 – Distribuição granulométrica da brita



Fonte: Autor (2019)

O cimento utilizado foi o CP V ARI-RS, pois, além de ser um cimento disponível no laboratório no qual os ensaios foram realizados, era desejável que o concreto desenvolvesse resistência mecânica rapidamente. Esta característica era esperada para que, na idade de ruptura e das primeiras preparações nos topos, a influência na resistência mecânica fosse mínima, próximo a zero, influenciando da menor maneira possível na resistência potencial dos corpos-de-prova.

A marca do cimento utilizado é Votoran e o ensaio de determinação da massa específica do cimento, realizado conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), indicou uma massa específica de 2,78 g/cm³, valor abaixo do sugerido por outra fabricante que indica 3,00 g/cm³.

Todas as dosagens e ensaios foram realizados no LATEC (Laboratório de Tecnologia da Construção), laboratório interno da Univates, localizado na cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul. A única exceção ao local de realização dos procedimentos foi a preparação com retífica horizontal, realizada no laboratório Portland em Estrela, Rio Grande do Sul, devido à disponibilidade do equipamento.

3.2 Métodos

A avaliação da resistência dos corpos-de-prova de três classes de concreto do Grupo I, cada uma combinada às cinco preparações diferentes das faces do testemunho, tem a função de projetar a influência exercida pelos métodos preparativos da face na resistência potencial do concreto. Para tanto, para cada uma das três classes de resistência do concreto foram moldados 50 corpos-de-prova que, divididos igualmente entre as cinco diferentes preparações de topo e base, geraram um total de 150 corpos-de-prova. Os corpos-de-prova cilíndricos utilizados possuem tamanho padrão de 10x20 cm.

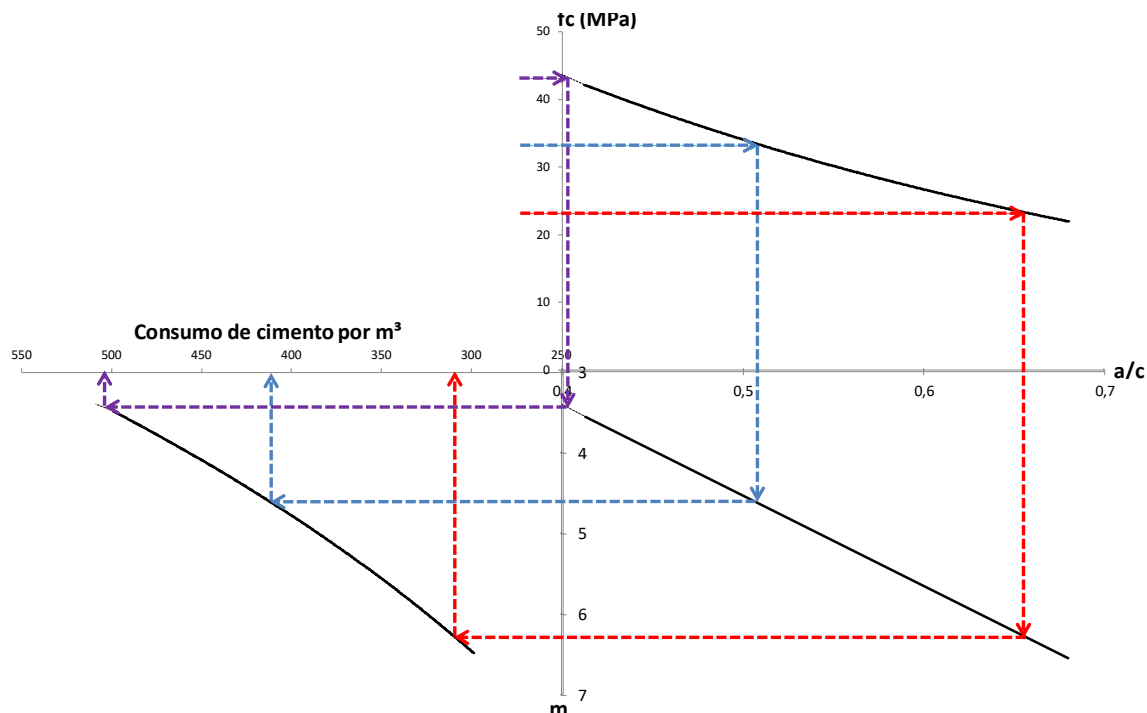
3.2.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto foi feita através do método IPT/EPUSP, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT e atualizado pela Escola Politécnica da USP – EPUSP, sendo este um método de elevado conceito

e bastante utilizado no Brasil. Este método baseia-se em princípios como as leis de Abrams, Lyse e Molinari. A primeira, correlaciona a relação a/c com a resistência do concreto, já a segunda relaciona os agregados secos/cimento em massa (m) com a relação a/c . Por último, a Lei de Molinari traz que o consumo de cimento de um determinado concreto pode ser relacionado à variável “ m ”. Com os resultados de ensaios que estão baseados nos princípios dessas leis é possível plotar pontos em gráficos e traçar curvas de tendência que trazem, com precisão, qual a relação a/c , consumo de cimento e o valor do traço seco que resultará em determinada resistência do concreto.

A Figura 6 apresenta a curva de dosagem e ainda a indicação dos valores adotados para cada uma das três resistências: Traço 1 com 20 MPa, Traço 2 com 30 MPa e Traço 3 com 40 MPa. Para obtenção de uma resistência característica de 40 MPa fez-se necessário extrapolar a linha de tendência do gráfico. Os traços foram superestimados em 3,33 MPa para garantir que a resistência mínima de 20, 30 e 40 MPa fossem alcançadas.

Figura 6 – Curva de dosagem



Fonte: Autor (2019)

A partir da curva de dosagem foi possível determinar os três traços pretendidos no estudo e a quantidade de cada material necessário para cada uma das misturas. O Quadro 6 apresenta as proporções utilizadas indicadas pela curva de dosagem.

Quadro 6 – Resumo de materiais utilizados em cada traço

| Slump definido = 120,00 mm \pm 20,00 mm | | | | | Traço unitário | | | | Traço betonada | | | |
|---|------------------|------|------|---|----------------|-------|-------|-----|----------------|------------|------------|----------|
| Classe (MPa) | fc dosagem (MPa) | a/c | m | Consumo de cimento (kg/m ³) | c | Areia | Brita | a/c | c (kg) | Areia (kg) | Brita (kg) | Água (l) |
| 20 | 23,3 | 0,65 | 6,30 | 310,0 | 1,00 | 2,9 | 3,4 | 0,7 | 32,6 | 93,4 | 111,7 | 21,2 |
| 30 | 33,3 | 0,51 | 4,60 | 410,0 | 1,00 | 2,0 | 2,6 | 0,5 | 43,1 | 84,7 | 113,3 | 22,0 |
| 40 | 43,3 | 0,40 | 2,80 | 505,0 | 1,00 | 1,0 | 1,8 | 0,4 | 53,0 | 53,8 | 94,7 | 21,2 |

Fonte: Autor (2019)

3.2.2 Produção do concreto

O concreto foi produzido com o auxílio de uma betoneira do próprio LATEC, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015) especifica. As proporções de material apresentadas no Quadro 5 foram aplicadas a uma betonada de 105 litros, quantidade esta necessária para a moldagem de 50 corpos-de-prova somada a uma perda de material envolvida no processo. Desta maneira, buscou-se diminuir as variações existentes entre cada preparo, atribuindo uma uniformidade maior a todos os testemunhos de mesma classe.

3.2.3 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova (FIGURA 7) foi feita em formas plásticas próprias para este fim. Para o adensamento, utilizou-se os procedimentos previstos pela NBR NM 33 (ABNT, 1998) e NBR 5738 (ABNT, 2015). Somente se deu início a moldagem à partir de um concreto com abatimento de 120 mm (\pm 20 mm), conforme previsto na dosagem. Este abatimento foi escolhido por apresentar uma boa trabalhabilidade para o fim desejado e também não exigir um elevado consumo de cimento.

Figura 7 – Moldagem dos corpos-de-prova



Fonte: Autor (2019)

A cura foi feita em câmara úmida, presente no próprio LATEC. Os corpos-de-prova foram colocados na câmara úmida imediatamente após a sua desmoldagem e permaneceram até a data da realização do ensaio à compressão axial, sendo retirados somente para a preparação dos topos e devolvidos à câmara. Este é um método de cura previsto na NBR 5738 (ABNT, 2015) e está em conformidade com as necessidades deste estudo.

3.2.4 Preparo das faces

O preparo das faces para o rompimento, conforme já especificado anteriormente, foi feito de 5 maneiras diferentes. A preparação das amostras referente ao grupo das retíficas foi atrasada o máximo possível. Postergar a preparação ao máximo visou que o concreto estivesse em sua resistência máxima antes de ser submetido a um método agressivo mecanicamente como a retificação, e que pode afetar sua estrutura interna.

O capeamento com pasta de cimento Portland (FIGURA 8) foi feito conforme descrito na NBR 5738 (ABNT, 2015). A pasta, preparada 2 horas antes do emprego,

foi aplicada sobre os corpos-de-prova que, para facilitar a aderência da pasta, tiveram seu topo escovado com o auxílio de uma escova de aço. A pasta de cimento utilizada possuía uma relação a/c 0,32, conforme previsto na NM 77 (AMN, 1996).

Figura 8 – Preparação com pasta de cimento Portland



Fonte: Autor (2019)

Após a aplicação da pasta, acomodou-se uma placa de vidro liso sobre toda a face do corpo-de-prova propiciando um acabamento plano. Isso é necessário para que as forças oriundas da prensa sejam transmitidas integralmente para uma área conhecida e mensurável.

Quanto ao preparo não aderente com Neoprene, foram utilizados dois tipos de Neoprene para o ensaio, um de dureza 60 Shore e outro com 70 Shore, ambos confinados à cabeça do corpo-de-prova por dois discos metálicos de confinamento que não permitem a sua expansão indeterminada para fora do perímetro da face superior do testemunho. O ensaio é composto por um par de almofadas de Neoprene e por um par de discos metálicos, sendo utilizados simultaneamente uma unidade para cada face.

A retificação dos testemunhos se deu de duas maneiras: uma com a retífica vertical e outra com a retífica horizontal (FIGURA 9). A retífica vertical utilizada está

instalada no LATEC e é fabricada pela empresa Solotest, sua referência é 1.082.320. Já para a preparação dos corpos-de-prova com a retífica horizontal, de fixador pneumático, os testemunhos foram levados ao laboratório da empresa Portland Tecnologia do Concreto na cidade vizinha de Estrela, Rio Grande do Sul. Todo o processo de retificação foi feito conforme as exigências da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 9 - Retífica vertical (esquerda) e retífica horizontal (direita) utilizadas



Fonte: Autor (2019)

3.2.5 Rompimento

O processo de ruptura dos corpos-de-prova respeitou as diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 2015). Ele aconteceu após 28 dias da moldagem e, consonante ao solicitado na mesma norma, foram observadas as 24 horas de tolerância previstas. A velocidade do carregamento aplicado foi de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s (FIGURA 10).

Figura 10 – Rompimento dos corpos-de-prova



Fonte: Autor (2019)

Foram anotados para cada corpo-de-prova rompido as dimensões da peça antes da ruptura para que, quando necessário, fosse aplicado o fator de correção previsto. Tomou-se nota ainda da força máxima de ensaio e o tipo de fratura gerada no rompimento para uma análise posterior. Os valores de força máxima foram aplicados na Equação 1, da resistência a compressão. Todas as informações recolhidas estão apresentadas no Apêndice A.

3.2.6 Análise estatística

Ao final dos ensaios, foi feita uma verificação do coeficiente de variação do ensaio, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018), visando verificar se os resultados obtidos estão dentro de um padrão adequado, podendo assim serem utilizados para análise.

A análise da influência das variáveis de preparo do topo dos corpos-de-prova foi realizada por meio da análise de variância, ou ANOVA. O Minitab 19 foi o software utilizado para realizar esta análise e também as informações de agrupamento pelo método de Tukey para um nível de confiança de 95%. O método ANOVA calcula um valor p que define se a variância dos resultados médios foi significativa, de modo que seja possível afirmar a existência ou não de diferença entre as médias de resistências obtidas a cada método de preparação, considerando um nível de significância de 95%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização de todos os processos descritos anteriormente, neste capítulo estão apresentadas as resistências encontradas nos rompimentos dos corpos-de-prova e todas as análises feitas a partir destes números. A apresentação dos resultados está dividida pela classe dos concretos ensaiados.

4.1 Grupo 1 – Concreto de fck 20 MPa

Para o primeiro grupo, a dosagem foi feita estimando uma resistência de 20 MPa. Porém, observou-se que, apesar da variabilidade encontrada entre os diferentes métodos de preparação, a resistência do concreto ficou acima do esperado. Apesar deste fator, a análise dos resultados não foi afetada pois todos os testemunhos avaliados são originados do mesmo concreto.

A Tabela 2, apresenta um resumo com a resistência média dos 10 corpos-de-prova, o desvio-padrão, o maior e o menor valor encontrado, além, da amplitude existente entre os extremos. Estes valores foram levantados esperando-se identificar qual dos métodos de preparação executados apresenta resistências com a menor variabilidade e, em teoria, maior confiança.

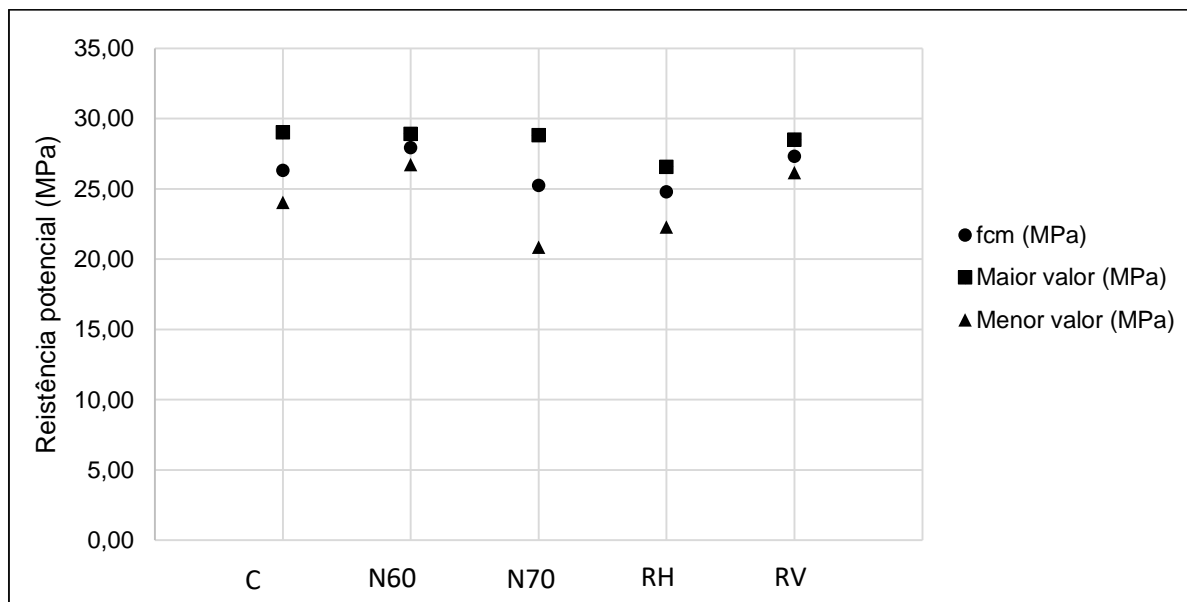
Tabela 2 – Resultados do Grupo 1 – fck 20 MPa

| Método de preparação | Identificação | fcm (MPa) | Desvio padrão (MPa) | Maior valor (MPa) | Menor valor (MPa) | Amplitude (MPa) |
|----------------------|---------------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Pasta de cimento | 20C | 26,33 | 1,84 | 29,02 | 24,05 | 4,97 |
| Neoprene 60 | 20N60 | 27,93 | 0,66 | 28,92 | 26,74 | 2,18 |
| Neoprene 70 | 20N70 | 25,26 | 2,23 | 28,83 | 20,85 | 7,98 |
| Retífica Horizontal | 20RH | 24,80 | 1,18 | 26,57 | 22,28 | 4,29 |
| Retífica Vertical | 20RV | 27,33 | 0,79 | 28,50 | 26,15 | 2,35 |

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 3 foi feito visando facilitar a comparação visual entre os resultados apresentados na Tabela 2. É possível identificar que a menor resistência média aparente encontrada se deu com a utilização da retífica horizontal, já o maior valor médio aparente apresentado se deu no grupo de testemunhos rompidos com o Neoprene de dureza 60 Shore, muito próximo ao resultado médio da retífica vertical. Outro dado que fica explícito mediante a plotagem dos dados é a grande amplitude nos resultados do Neoprene de 70 Shore.

Gráfico 3 – Gráfico-resumo dos resultados para o Grupo 1 – fck 20 MPa



Fonte: Autor (2019)

Foi possível observar uma alta ocorrência de fraturas do tipo F no rompimento dos corpos-de-prova capeados com Neoprene 70 sh, fenômeno observado também no estudo de Chies et al. (2013). A elevada dureza do Neoprene, acima do indicado

pela ASTM C1231/ C1231M (ASTM, 2015) para esta classe de concreto pode ser a justificativa para todos os CP terem fraturados desta maneira. O Quadro 7 apresenta um resumo das ocorrências de cada tipo de fratura de acordo com o método de preparação das faces do testemunho.

Quadro 7 – Contagem por tipos de fraturas no Grupo 1 – fck 20 MPa

| Método de preparação | Número de ocorrências de cada tipo de fratura | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|----|
| | A | B | C | D | E | F |
| Pasta de cimento | 0 | 1 | 5 | 0 | 4 | 0 |
| Neoprene 60 | 0 | 1 | 4 | 0 | 0 | 5 |
| Neoprene 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Retífica Horizontal | 1 | 2 | 0 | 0 | 6 | 1 |
| Retífica Vertical | 1 | 3 | 2 | 0 | 4 | 0 |

Fonte: Autor (2019)

4.1.1 Análise de variância

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) adotando-se a resistência de 20 MPa como variável dependente e o método de preparação como variável independente. Desta maneira entende-se que, se o valor de p for inferior a 0,05 (5%), o método de preparação tem significância nos resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão axial.

Tabela 3 – Tabela ANOVA para o Grupo 1 - fck 20 MPa

| Fator | Graus de liberdade | Soma quadrática | Média quadrática | Valor F | Valor P |
|----------------------|--------------------|-----------------|------------------|---------|---------|
| Método de preparação | 4 | 70,78 | 17,694 | 8,33 | 0,000 |
| Erro | 45 | 95,61 | 2,125 | | |
| Total | 49 | 166,38 | | | |

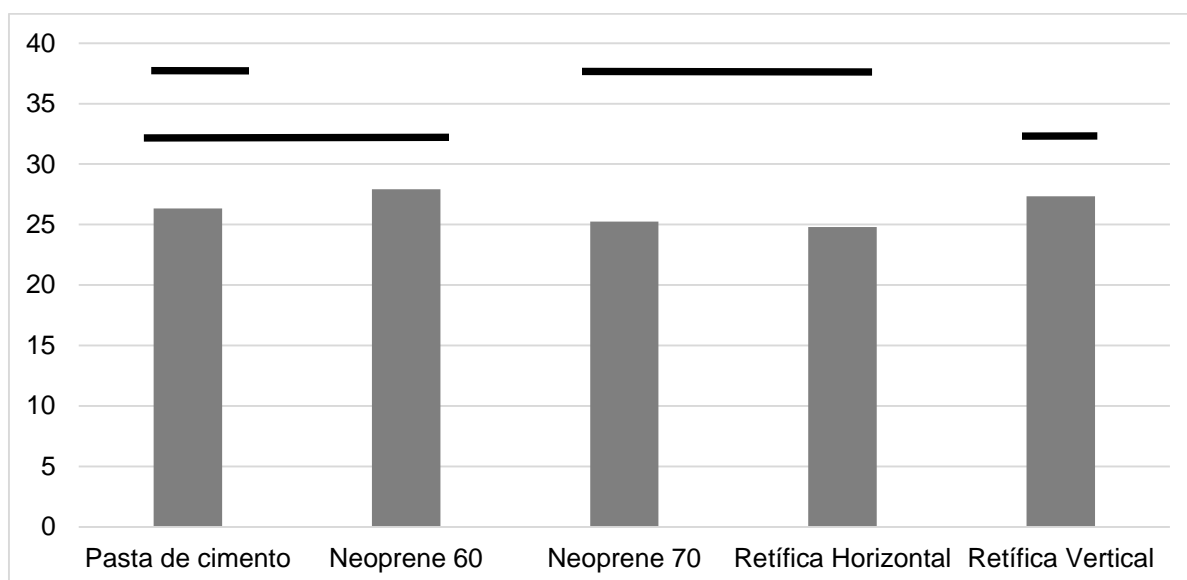
Fonte: Autor (2019)

De acordo com a análise feita e o valor p encontrado (TABELA 3), o método de preparação dos corpos-de-prova, para um concreto de fck 20 MPa foi determinante na resistência potencial encontrada. Em complemento a esta análise, verificou-se, através do método de Tukey, quais os métodos de preparação que, quando

comparados individualmente a cada método, apresentaram médias com diferenças significantes.

O Gráfico 4 demonstra os agrupamentos encontrados quando as médias são comparadas pelo método de Tukey. É possível destacar que para o estudo realizado, quando os métodos de preparação foram aplicados aos testemunhos do Grupo 1, existem dois grupos onde as médias não possuem diferenças com significância. O agrupamento A com pasta de cimento, Neoprene 60 sh e retífica vertical, e ainda o agrupamento B com pasta de cimento, Neoprene 70 sh e retífica horizontal.

Gráfico 4 – Tukey aplicado a média dos resultados para o Grupo 1 - fck 20 MPa



Fonte: Autor (2019)

4.1.2 Coeficiente de variação do ensaio

Para o primeiro grupo de testemunhos, a amplitude máxima entre todos os testemunhos preparados foi de 8,17 MPa. Esta amplitude aplicada à Equação 2 e, consequentemente, o desvio-padrão à Equação 3, resultou em um coeficiente de variação de 2,45% para o ensaio, considerado excelente segundo o indicado no Quadro 5.

4.2 Grupo 2 – Concreto de fck 30 MPa

Em relação à resistência do concreto para o Grupo 2, foi possível observar o mesmo comportamento do concreto do Grupo 1: a média de resistência média entre todos os corpos-de-prova ficou pouco acima do esperado, novamente, podendo ser motivada pela relação a/c final abaixo da estipulada em dosagem.

Analizando a amplitude de cada método de preparação na Tabela 4 é possível identificar um aumento na amplitude das resistências encontradas em relação ao grupo anterior. Assim como, um aumento no desvio padrão de maneira geral.

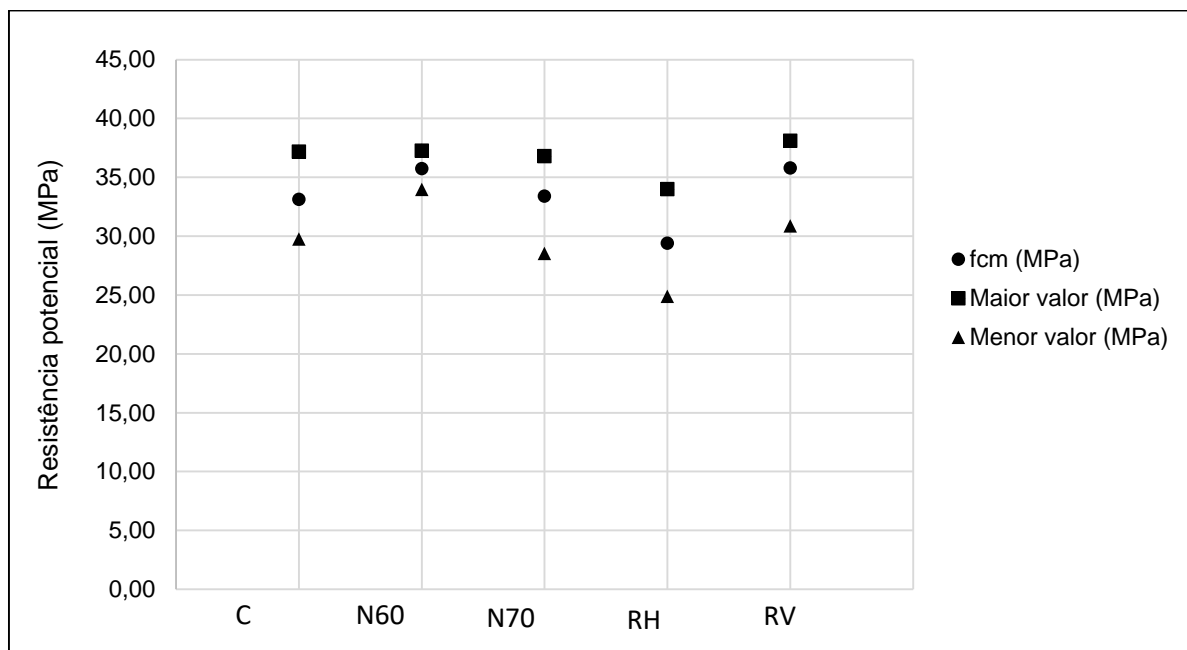
Tabela 4 - Resultados do Grupo 2 – fck 30 MPa

| Método de preparação | Identificação | fcm (MPa) | Desvio padrão (MPa) | Maior valor (MPa) | Menor valor (MPa) | Amplitude (MPa) |
|----------------------|---------------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Pasta de cimento | 30C | 33,13 | 1,97 | 37,17 | 29,76 | 7,40 |
| Neoprene 60 | 30N60 | 35,74 | 1,02 | 37,26 | 33,96 | 3,30 |
| Neoprene 70 | 30N70 | 33,39 | 2,44 | 36,81 | 28,54 | 8,27 |
| Retífica Horizontal | 30RH | 29,41 | 3,13 | 34,00 | 24,89 | 9,11 |
| Retífica Vertical | 30RV | 35,80 | 2,73 | 38,11 | 30,88 | 7,23 |

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 5 apresenta um padrão muito semelhante ao encontrado no Gráfico 3, indicando um comportamento similar nos corpos-de-prova quando aplicado o mesmo método de preparação do topo para concretos de fck 20 MPa e fck 30 MPa. Novamente, as maiores médias de resistência pertencem aos corpos-de-prova preparados com Neoprene 60 sh e retífica vertical. A preparação com menor média de resistência do Grupo 1 se repetiu no Grupo 2 indicando que a retífica horizontal possa ter causado danos excessivos à estrutura dos testemunhos, reduzindo a sua resistência à compressão.

Gráfico 5 - Gráfico-resumo dos resultados para o Grupo 2 – fck 30 MPa



Fonte: Autor (2019)

O comportamento das fraturas no segundo grupo, de uma maneira geral, seguiu parecido ao do Grupo 1. A principal diferença esteve nas fraturas dos testemunhos preparados com Neoprene 70 sh, saindo de 10 fraturas do tipo F, para quase a metade: 6 (QUADRO 8).

Quadro 8 - Contagem por tipos de fraturas no Grupo 2 – fck 30 MPa

| Método de preparação | Número de ocorrências por tipo de fratura | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| Pasta de cimento | 0 | 0 | 8 | 0 | 1 | 1 |
| Neoprene 60 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 5 |
| Neoprene 70 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 6 |
| Retífica Horizontal | 5 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Retífica Vertical | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 |

Fonte: Autor (2019)

4.2.1 Análise de variância

A análise de variância aplicada sobre os resultados do Grupo 2, conforme observado pelo valor p da Tabela 5, indicou que há diferença significativa entre as médias dos resultados, o que, novamente, significa que o método de preparação influenciou a resistência à compressão dos corpos-de-prova.

Tabela 5 - Tabela ANOVA para o Grupo 2 – fck 30 MPa

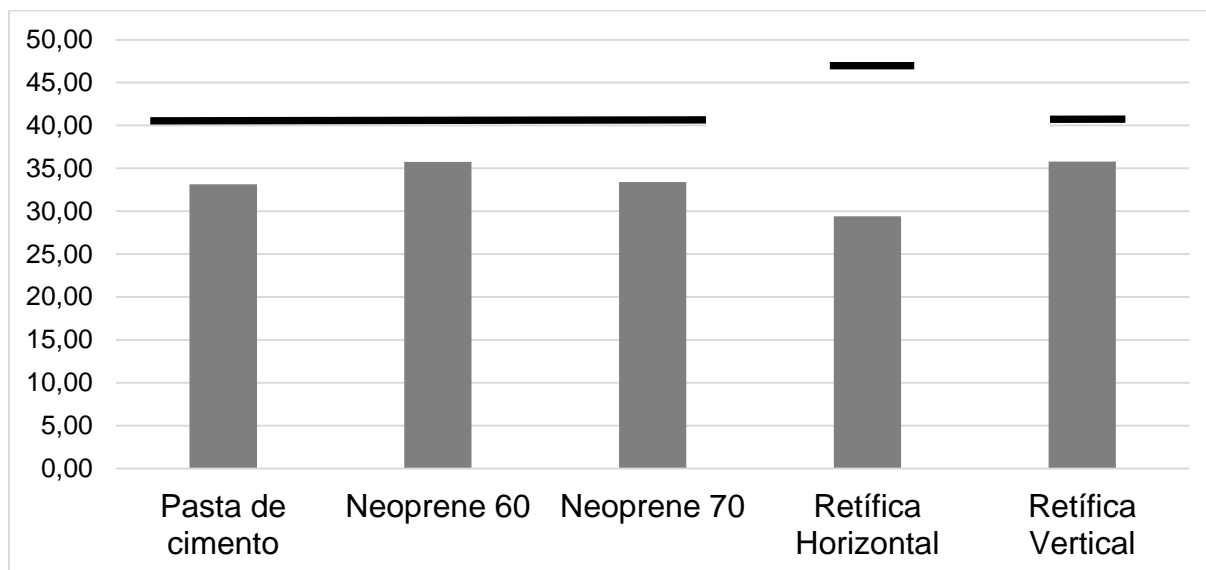
| Fator | Graus de liberdade | Soma quadrática | Média quadrática | Valor F | Valor P |
|----------------------|--------------------|-----------------|------------------|---------|---------|
| Método de preparação | 4 | 272,3 | 68,077 | 12,09 | 0,000 |
| Erro | 45 | 253,3 | 5,629 | | |
| Total | 49 | 525,6 | | | |

Fonte: Autor (2019)

Apesar de a análise de variância apontar tal diferença entre as médias, para o Grupo 2 a diferença entre as médias de resistência dos métodos de preparação foi menor, formando 1 grande agrupamento onde não é possível apontar uma diferença significativa entre as médias e, do outro lado, o método de retífica horizontal que apresentou uma média abaixo das demais.

O Gráfico 6 mostra que para os testemunhos do Grupo 2, a retífica horizontal foi a única que apresentou média que possuía uma diferença significativa das demais encontradas.

Gráfico 6 - Tukey aplicado a média dos resultados para o Grupo 2 - fck 30 MPa



Fonte: Autor (2019)

4.2.2 Coeficiente de variação do ensaio

A amplitude dos resultados para o Grupo 2 foi superior ao primeiro grupo. Ela saiu de 8,17 MPa para 13,22 MPa, o que pode indicar que quanto maior o fck do concreto ensaiado, maior a variabilidade dos resultados. Evidência corroborada pelo aumento das amplitudes de todos os métodos de preparação em relação ao primeiro grupo. O desvio-padrão calculado foi de 1,04, que aplicado a fórmula do Coeficiente de variação indicou 3,12%, considerado pela NBR 5739 (ABNT, 2018) muito bom.

4.3 Grupo 3 – Concreto de fck 40 MPa

Para o terceiro grupo de corpos-de-prova as médias ficaram muito próximas aos 40 MPa calculados na dosagem. A amplitude e o desvio-padrão de cada grupo foram, em sua maioria, superiores ao do Grupo 2, mesmo padrão observado quando comparados os resultados do Grupo 1 ao 2. A exceção no aumento é a retífica vertical que apresentou uma amplitude maior, porém, um desvio-padrão menor em relação ao Grupo 2 (TABELA 6).

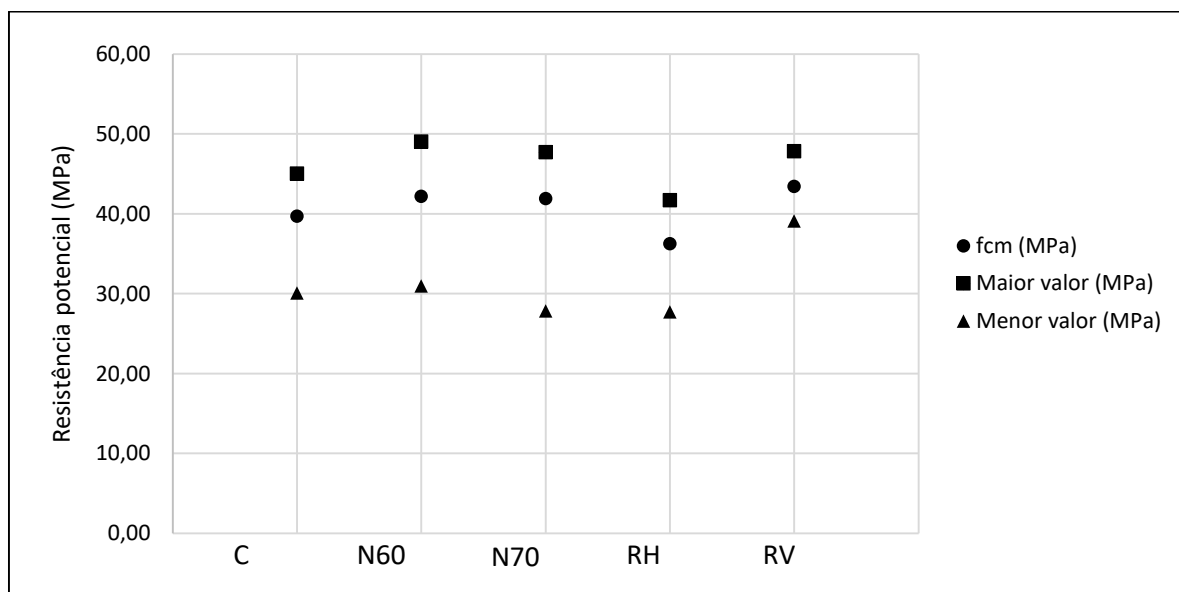
Tabela 6 - Resultados do Grupo 3 – fck 40 MPa

| Método de preparação | Identificação | fcm (MPa) | Desvio padrão (MPa) | Maior valor (MPa) | Menor valor (MPa) | Amplitude (MPa) |
|----------------------|---------------|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Pasta de cimento | 40C | 39,71 | 3,53 | 45,04 | 30,11 | 14,93 |
| Neoprene 60 | 40N60 | 42,18 | 5,44 | 49,07 | 30,99 | 18,08 |
| Neoprene 70 | 40N70 | 41,93 | 5,83 | 47,74 | 27,85 | 19,89 |
| Retífica Horizontal | 40RH | 36,26 | 4,14 | 41,71 | 27,71 | 14,00 |
| Retífica Vertical | 40RV | 43,46 | 2,54 | 47,83 | 39,10 | 8,74 |

Fonte: Autor (2019)

Observando o Gráfico 7 fica nítida a elevada amplitude dos resultados encontrados no Grupo 3. Os valores de amplitude em sua maioria ficaram iguais ou superiores a 14,00 MPa, no caso dos capeamentos não-aderentes os resultados se aproximaram à casa dos 20 MPa, valor extremamente elevado. Foram encontrados resultados com 30% de dispersão em relação da média.

Gráfico 7 - Gráfico-resumo dos resultados para o Grupo 3 – fck 40 MPa



Fonte: Autor (2019)

Assim como nos Grupos 1 e 2, a retífica vertical apresentou valores baixos de desvio-padrão e amplitude. Já o Neoprene 60 sh, que havia apresentado os melhores resultados nos primeiros dois grupos, apresentou amplitude considerável dos resultados e um desvio-padrão de 8,89 % do fcm.

Silva (2009), quanto ao uso do capeamento com pasta de cimento, indicou falta de confiabilidade na resistência para concretos com resistência de 20 MPa, já para concretos com fck 35 MPa, apresentou resultados satisfatórios. Este estudo indicou um desempenho satisfatório para resistências de 20 MPa a 40 MPa.

Os estudos de Silva (2009) e Chies et al. (2014) indicaram que ambas as retíficas eram os métodos de preparação mais adequados a serem utilizados. O presente estudo corrobora os autores quanto ao uso de retífica vertical, porém não se pode afirmar o mesmo quanto ao uso de retífica horizontal que, para os 3 grupos estudados apresentou uma diminuição nos valores médios de resistência em relação aos demais métodos.

Diferentemente do encontrado por Silva (2009) em seu estudo, não foi possível observar uma diminuição das resistências nos corpos-de-prova ensaiados com Neoprene, mas sim médias muito parecidas aos demais métodos. Consonante ao estudo de Chies et al. (2013), não houve discrepância tão significativa entre os resultados do Neoprene 60 e 70 sh com a retífica vertical. Ainda condizente ao estudo de Chies et al. (2013) os Quadros 9, 8 e 7, referentes aos tipos de fratura apresentados nos rompimentos, o uso de Neoprene, independentemente se for de dureza 60 Shore ou 70 Shore, acarretou elevado número de fraturas do tipo F.

Quadro 9 - Contagem por tipos de fraturas no Grupo 3 – fck 40 MPa

| Método de preparação | Número de ocorrências por tipo de fratura | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F |
| Pasta de cimento | 0 | 2 | 2 | 0 | 5 | 1 |
| Neoprene 60 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 7 |
| Neoprene 70 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 7 |
| Retífica Horizontal | 2 | 2 | 4 | 0 | 1 | 1 |
| Retífica Vertical | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 |

Fonte: Autor (2019)

4.3.1 Análise de variância

Assim como para os primeiros grupos, o teste ANOVA, conforme Tabela 7, apontou diferença de médias com significância superior a 5%. Indicando que, para as três classes de concreto utilizadas, o método de preparação das faces do corpo-de-prova exerce influência nas médias de resistência à compressão axial.

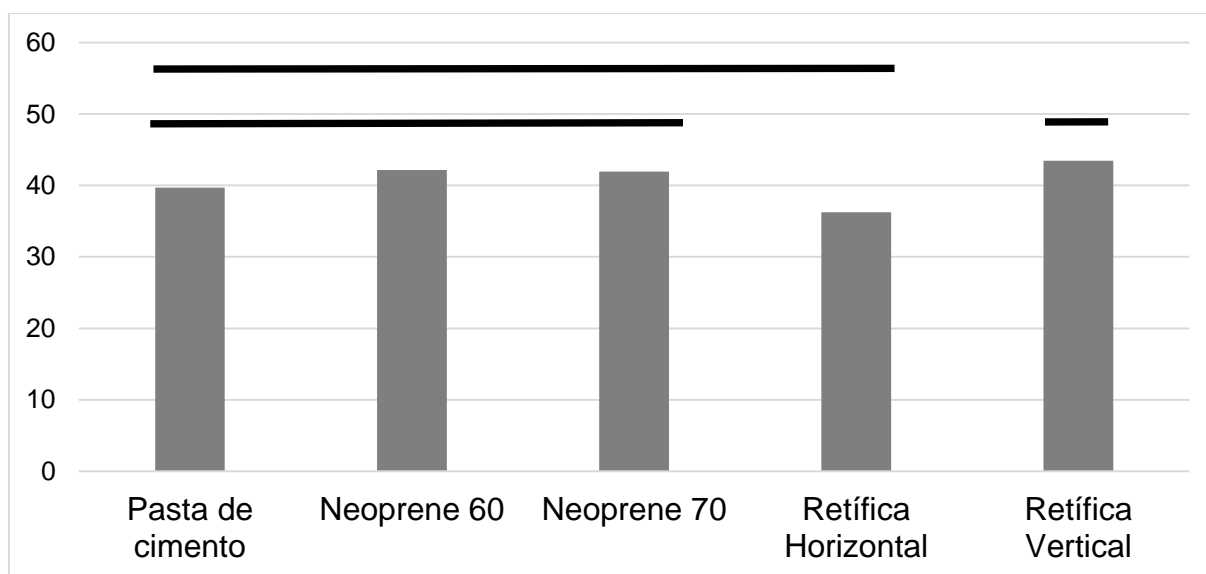
Tabela 7 - Tabela ANOVA para o Grupo 3 – fck 40 MPa

| Fator | Graus de liberdade | Soma quadrática | Média quadrática | Valor F | Valor P |
|----------------------|--------------------|-----------------|------------------|---------|---------|
| Método de preparação | 4 | 320,0 | 79,99 | 3,65 | 0,012 |
| Erro | 45 | 986,1 | 21,91 | | |
| Total | 49 | 1306,0 | | | |

Fonte: Autor (2019)

O Gráfico 8 mostra dois grandes agrupamentos de médias em que não é possível apontar diferença e, assim como nos Grupos 1 e 2, a retífica vertical e a retífica horizontal apresentaram médias diferentes. Os dois capeamentos não-aderentes apresentaram médias com diferença significativa somente no Grupo 1. Três métodos apresentaram médias sem diferença significativa em todos os grupos e foram eles: capeamento aderente com pasta de cimento, Neoprene 60 sh e retífica vertical.

Gráfico 8 - Tukey aplicado a média dos resultados para o Grupo 3 - fck 40 MPa



Fonte: Autor (2019)

4.3.2 Coeficiente de variação do ensaio

A amplitude dos resultados do último grupo foi a mais elevada de todas, ficando em 21,36 MPa. Aplicado a equação do desvio-padrão obteve-se um resultado de 1,69, gerando um coeficiente de variação do ensaio de 4,14%. Este é considerado um resultado bom pela NBR 5739 (ABNT, 2018). É possível avaliar que a cada classe de concreto avaliada o coeficiente perdeu um nível de qualidade, devido à amplitude dos resultados obtidos.

4.4 Análise qualitativa dos métodos de preparação

Além dos valores analisados até então, o estudo experimental possibilitou analisar as dificuldades e praticidades encontradas na execução de cada um dos métodos. Esta análise se torna importante frente a elevadas demandas de rompimentos, como ocorre em diversos laboratórios e em obras com elevado volume de concreto.

O uso de pasta de cimento Portland foi o método mais trabalhoso e demorado para ser executado demorando de três a quatro vezes mais que as retíficas verticais e horizontais. Além disso, necessita ser feito em dois dias diferentes, o que, de certa forma, pode elevar ainda mais essa diferença de tempo para preparo. Desta maneira, quando os métodos são abordados por esta ótica, a pasta de cimento não é um método recomendado pelo autor.

A retífica vertical e a retífica horizontal também apresentaram diferenças de tempo e facilidade na execução. Enquanto a preparação com retífica horizontal levou trinta minutos para ser feita em todos os cinquenta testemunhos, a retífica vertical exigiu uma hora e trinta minutos para ser finalizada, um tempo três vezes maior. Porém, não é possível afirmar que a diferença ocorre em todos os casos visto que o autor já trabalhou como auxiliar laboratorista em um laboratório que trabalhava somente com a retífica horizontal, tendo assim maior afinidade com o procedimento.

O método mais prático é, obviamente, o de capeamento não aderente com Neoprene pois não necessita de qualquer tipo de preparação prévia ao ensaio do testemunho.

5 CONCLUSÕES

Tendo como base as análises feitas ao longo deste experimento foi possível chegar as conclusões que seguem descritas neste capítulo.

Em acordo parcial ao previsto na hipótese deste trabalho, o uso do Neoprene não apresentou, de maneira geral, elevado desvio-padrão nos resultados. A hipótese se confirmou para o Neoprene de 70 Shore, porém não ao Neoprene de 60 sh. O neoprene com menor dureza se comportou de maneira adequada para as classes de concreto com 20 MPa e 30 MPa, tendo desvio-padrão elevado somente no último grupo, com fck 40 MPa.

Outra hipótese levantada foi a de que as retíficas iriam afetar a estrutura interna dos testemunhos levando a uma redução da média encontrada em relação aos demais métodos. Isto pode ter ocorrido com a retífica horizontal que apresentou as médias de resistência aparentes mais baixas para as três classes de concreto estudadas. O mesmo não pôde ser observado para a retífica vertical que, apresentou a segunda maior média aparente para o Grupo 1 e a maior para os Grupos 2 e 3.

Para todos os três grupos de concreto estudados, pelo menos um método teve a média com diferença significativa estatisticamente comprovada, indicando que o método de preparação dos topos do corpo-de-prova exerce influência no resultado do ensaio de resistência à compressão axial.

Para o Grupo 1, com concreto de fck 20 MPa, o método de preparação mais indicado quando observado o desvio-padrão e amplitude aparente dos resultados é o

Neoprene de 60 sh, porém o uso da retífica vertical e da pasta de cimento Portland, conforme a análise estatística feita, apresentam resultados de mesma confiança.

Para a preparação de corpos-de-prova do Grupo 2, com concreto de fck 30 MPa, o Neoprene 60 sh continua tendo os melhores resultados aparentes. Porém, assim como no Grupo 1, a análise estatística não indicou diferença significativa entre as médias dos outros grupos.

Já para o Grupo 3, de concreto com fck 40 MPa, o método com menor desvio-padrão foi a retífica vertical. O Neoprene de 60 sh, que apresentou bons resultados nos dois primeiros grupos, não obteve o mesmo desempenho ficando com uma amplitude e desvio-padrão elevados.

Os testemunhos preparados com pasta de cimento Portland, Neoprene 60 Shore e retífica vertical apresentaram, em cada um dos três grupos, média dos resultados sem diferença significativa e valores de desvio-padrão abaixo dos outros dois métodos. Desta maneira, são os métodos mais indicados para a preparação de corpos-de-prova com concretos de fck 20, 30 ou 40 MPa. Assim como Chies (2011), neste estudo a retífica vertical se apresentou como um método com menor desvio-padrão que a retífica horizontal e ainda com valores de resistência superiores a outra retífica.

Para futuros estudos, indica-se a utilização de classes de concreto do Grupo II com fck superior a 50 MPa como forma de avaliar se, para concretos de elevada resistência, os resultados encontrados se comportam de maneira parecida aos obtidos neste experimento.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Relatório dos rompimentos

| C - CAPEAMENTO COM PASTA DE CIMENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|-----------|------------|---------------|------|-------------|-------|-----------|-----------|------------|---------------|------|-------------|-------|-----------|-----------|------------|---------------|------|-------------|
| ID | h (mm) | D (mm) | F (tnf) | TIPO ROMP. | h/D | fc (MPa) | ID | h (mm) | D (mm) | F (tnf) | TIPO ROMP. | h/D | fc (MPa) | ID | h (mm) | D (mm) | F (tnf) | TIPO ROMP. | h/D | fc (MPa) |
| 20C | 205 | 102 | 20,04 | C | 2,01 | 24,1 | 30C | 208 | 102 | 28,51 | C | 2,04 | 34,2 | 40C | 207 | 102 | 31,02 | C | 2,03 | 37,2 |
| 20C | 206 | 102 | 23,98 | B | 2,02 | 28,8 | 30C | 207 | 102 | 30,97 | C | 2,03 | 37,2 | 40C | 206 | 100 | 34,27 | C | 2,06 | 42,8 |
| 20C | 206 | 101 | 22,75 | E | 2,04 | 27,8 | 30C | 207 | 101 | 26,7 | C | 2,05 | 32,7 | 40C | 206 | 102 | 33,27 | E | 2,02 | 39,9 |
| 20C | 207 | 102 | 20,77 | E | 2,03 | 24,9 | 30C | 206 | 102 | 26,61 | C | 2,02 | 31,9 | 40C | 205 | 102 | 34,52 | E | 2,01 | 41,4 |
| 20C | 206 | 102 | 22,1 | E | 2,02 | 26,5 | 30C | 206 | 102 | 28,12 | C | 2,02 | 33,7 | 40C | 207 | 101 | 36,8 | E | 2,05 | 45,0 |
| 20C | 207 | 101 | 23,71 | E | 2,05 | 29,0 | 30C | 206 | 102 | 26,39 | C | 2,02 | 31,7 | 40C | 206 | 102 | 29,28 | E | 2,02 | 35,1 |
| 20C | 206 | 102 | 22,03 | C | 2,02 | 26,4 | 30C | 206 | 102 | 24,8 | C | 2,02 | 29,8 | 40C | 205 | 102 | 31,22 | E | 2,01 | 37,5 |
| 20C | 206 | 102 | 20,74 | C | 2,02 | 24,9 | 30C | 207 | 102 | 28,01 | E | 2,03 | 33,6 | 40C | 207 | 102 | 37,04 | B | 2,03 | 44,5 |
| 20C | 207 | 102 | 20,66 | C | 2,03 | 24,8 | 30C | 206 | 102 | 28,45 | F | 2,02 | 34,1 | 40C | 206 | 102 | 36,23 | F | 2,02 | 43,5 |
| 20C | 206 | 102 | 10,17 | C | 2,02 | 26,0 | 30C | 207 | 101 | 26,43 | C | 2,05 | 32,4 | 40C | 203 | 102 | 25,09 | B | 1,99 | 30,1 |
| N60 - NEOPRENE 60 SHORE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20N60 | 203 | 102 | 23,46 | B | 1,99 | 28,2 | 30N60 | 203 | 102 | 31,05 | F | 1,99 | 37,3 | 40N60 | 203 | 102 | 38,27 | F | 1,99 | 45,9 |
| 20N60 | 202 | 100 | 23,16 | F | 2,02 | 28,9 | 30N60 | 203 | 102 | 29,59 | C | 1,99 | 35,5 | 40N60 | 203 | 102 | 36,05 | F | 1,99 | 43,3 |
| 20N60 | 202 | 102 | 23,73 | C | 1,98 | 28,5 | 30N60 | 204 | 100 | 29,51 | C | 2,04 | 36,8 | 40N60 | 204 | 102 | 38,17 | E | 2,00 | 45,8 |
| 20N60 | 201 | 102 | 23,29 | F | 1,97 | 28,0 | 30N60 | 202 | 102 | 30,21 | B | 1,98 | 36,3 | 40N60 | 204 | 101 | 37,66 | F | 2,02 | 46,1 |
| 20N60 | 203 | 102 | 22,42 | C | 1,99 | 26,9 | 30N60 | 202 | 102 | 29,88 | F | 1,98 | 35,9 | 40N60 | 205 | 100 | 32,94 | F | 2,05 | 41,1 |
| 20N60 | 201 | 102 | 23,35 | F | 1,97 | 28,0 | 30N60 | 203 | 102 | 29,45 | F | 1,99 | 35,3 | 40N60 | 204 | 101 | 25,32 | F | 2,02 | 31,0 |
| 20N60 | 203 | 102 | 23,48 | C | 1,99 | 28,2 | 30N60 | 202 | 102 | 28,3 | F | 1,98 | 34,0 | 40N60 | 204 | 100 | 31,31 | F | 2,04 | 39,1 |
| 20N60 | 203 | 101 | 22,71 | F | 2,01 | 27,8 | 30N60 | 203 | 102 | 28,72 | E | 1,99 | 34,5 | 40N60 | 203 | 100 | 29,03 | B | 2,03 | 36,2 |
| 20N60 | 202 | 102 | 22,28 | C | 1,98 | 26,7 | 30N60 | 203 | 102 | 30,39 | E | 1,99 | 36,5 | 40N60 | 204 | 102 | 40,89 | B | 2,00 | 49,1 |
| 20N60 | 204 | 102 | 23,48 | F | 2,00 | 28,2 | 30N60 | 202 | 102 | 29,51 | F | 1,98 | 35,4 | 40N60 | 204 | 100 | 35,38 | F | 2,04 | 44,2 |
| N70 - NEOPRENE 70 SHORE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20N70 | 203 | 102 | 21,14 | F | 1,99 | 25,4 | 30N70 | 204 | 102 | 28,53 | F | 2,00 | 34,2 | 40N70 | 204 | 101 | 38,23 | F | 2,02 | 46,8 |
| 20N70 | 203 | 102 | 19,55 | F | 1,99 | 23,5 | 30N70 | 204 | 100 | 29,48 | C | 2,04 | 36,8 | 40N70 | 205 | 102 | 39,78 | F | 2,01 | 47,7 |
| 20N70 | 204 | 101 | 20,22 | F | 2,02 | 24,7 | 30N70 | 203 | 102 | 29,01 | C | 1,99 | 34,8 | 40N70 | 204 | 101 | 34,4 | E | 2,02 | 42,1 |
| 20N70 | 203 | 102 | 21,34 | F | 1,99 | 25,6 | 30N70 | 203 | 102 | 27,83 | B | 1,99 | 33,4 | 40N70 | 204 | 101 | 22,75 | F | 2,02 | 27,8 |
| 20N70 | 203 | 102 | 19,95 | F | 1,99 | 23,9 | 30N70 | 203 | 102 | 28,77 | F | 1,99 | 34,5 | 40N70 | 205 | 102 | 31,91 | F | 2,01 | 38,3 |
| 20N70 | 204 | 102 | 21,3 | F | 2,00 | 25,6 | 30N70 | 202 | 102 | 26,05 | F | 1,98 | 31,3 | 40N70 | 203 | 102 | 35,48 | F | 1,99 | 42,6 |
| 20N70 | 204 | 102 | 22,27 | F | 2,00 | 26,7 | 30N70 | 204 | 102 | 25,73 | F | 2,00 | 30,9 | 40N70 | 204 | 102 | 38,97 | F | 2,00 | 46,8 |
| 20N70 | 203 | 102 | 22,9 | F | 1,99 | 27,5 | 30N70 | 203 | 102 | 28,76 | E | 1,99 | 34,5 | 40N70 | 205 | 102 | 32,99 | B | 2,01 | 39,6 |
| 20N70 | 203 | 100 | 23,09 | F | 2,03 | 28,8 | 30N70 | 203 | 102 | 23,78 | F | 1,99 | 28,5 | 40N70 | 204 | 102 | 36,62 | B | 2,00 | 43,9 |
| 20N70 | 200 | 102 | 17,37 | F | 1,96 | 20,8 | 30N70 | 204 | 102 | 29,1 | F | 2,00 | 34,9 | 40N70 | 204 | 101 | 35,67 | F | 2,02 | 43,7 |
| RH - RETÍFICA HORIZONTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20RH | 201 | 102 | 20,77 | E | 1,97 | 24,9 | 30RH | 201 | 100 | 27,23 | E | 2,01 | 34,0 | 40RH | 196 | 102 | 32,15 | B | 1,92 | 38,3 |
| 20RH | 198 | 100 | 19,13 | B | 1,98 | 23,9 | 30RH | 201 | 100 | 19,93 | B | 2,01 | 24,9 | 40RH | 200 | 102 | 23,09 | B | 1,96 | 27,7 |
| 20RH | 198 | 102 | 21,7 | B | 1,94 | 26,0 | 30RH | 199 | 102 | 27,37 | A | 1,95 | 32,8 | 40RH | 199 | 101 | 34,08 | F | 1,97 | 41,7 |
| 20RH | 199 | 102 | 20,68 | F | 1,95 | 24,8 | 30RH | 201 | 100 | 21,45 | C | 2,01 | 26,8 | 40RH | 198 | 100 | 31,47 | E | 1,98 | 39,3 |
| 20RH | 198 | 102 | 20,54 | A | 1,94 | 24,7 | 30RH | 198 | 102 | 24,65 | C | 1,94 | 29,6 | 40RH | 196 | 100 | 29,31 | C | 1,96 | 36,6 |
| 20RH | 199 | 101 | 18,2 | E | 1,97 | 22,3 | 30RH | 201 | 101 | 20,91 | A | 1,99 | 25,6 | 40RH | 199 | 102 | 27,89 | C | 1,95 | 33,5 |
| 20RH | 195 | 102 | 20,87 | E | 1,91 | 24,9 | 30RH | 200 | 102 | 23,75 | A | 1,96 | 28,5 | 40RH | 200 | 102 | 34,04 | C | 1,96 | 40,9 |
| 20RH | 199 | 100 | 19,58 | E | 1,99 | 24,4 | 30RH | 199 | 100 | 22,89 | B | 1,99 | 28,6 | 40RH | 201 | 101 | 29,72 | A | 1,99 | 36,4 |
| 20RH | 198 | 102 | 22,14 | E | 1,94 | 26,6 | 30RH | 199 | 101 | 25,09 | A | 1,97 | 30,7 | 40RH | 199 | 102 | 28,66 | C | 1,95 | 34,4 |
| 20RH | 200 | 102 | 21,22 | E | 1,96 | 25,5 | 30RH | 200 | 101 | 26,62 | A | 1,98 | 32,6 | 40RH | 199 | 102 | 28,23 | A | 1,95 | 33,9 |
| RV - RETÍFICA VERTICAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20RV | 201 | 102 | 23,46 | B | 1,97 | 28,2 | 30RV | 198 | 100 | 30,52 | B | 1,98 | 38,1 | 40RV | 200 | 102 | 37,01 | C | 1,96 | 44,4 |
| 20RV | 201 | 102 | 21,79 | C | 1,97 | 26,2 | 30RV | 203 | 100 | 30,42 | C | 2,03 | 38,0 | 40RV | 199 | 102 | 37,24 | B | 1,95 | 44,7 |
| 20RV | 200 | 102 | 23,17 | C | 1,96 | 27,8 | 30RV | 198 | 100 | 30,41 | A | 1,98 | 38,0 | 40RV | 200 | 102 | 36,85 | B | 1,96 | 44,2 |
| 20RV | 198 | 102 | 21,93 | E | 1,94 | 26,3 | 30RV | 201 | 102 | 25,73 | A | 1,97 | 30,9 | 40RV | 201 | 101 | 39,08 | E | 1,99 | 47,8 |
| 20RV | 200 | 102 | 23,19 | B | 1,96 | 27,8 | 30RV | 202 | 102 | 31,55 | A | 1,98 | 37,9 | 40RV | 200 | 102 | 38,47 | A | 1,96 | 46,2 |
| 20RV | 199 | 102 | 22,77 | E | 1,95 | 27,3 | 30RV | 200 | 102 | 25,99 | C | 1,96 | 31,2 | 40RV | 197 | 102 | 35,37 | A | 1,93 | 42,2 |
| 20RV | 200 | 101 | 21,71 | A | 1,98 | 26,6 | 30RV | 198 | 100 | 29,15 | A | 1,98 | 36,4 | 40RV | 197 | 102 | 32,76 | A | 1,93 | 39,1 |
| 20RV | 200 | 102 | 23,75 | B | 1,96 | 28,5 | 30RV | 201 | 102 | 30,73 | D | 1,97 | 36,9 | 40RV | 201 | 102 | 35,07 | F | 1,97 | 42,1 |
| 20RV | 199 | 102 | 22,85 | E | 1,95 | 27,4 | 30RV | 201 | 102 | 28,95 | E | 1,97 | 34,7 | 40RV | 199 | 102 | 34,24 | C | 1,95 | 41,1 |
| 20RV | 197 | 102 | 22,79 | E | 1,93 | 27,2 | 30RV | 200 | 102 | 30,02 | C | 1,96 | 36,0 | 40RV | 199 | 102 | 35,63 | F | 1,95 | 42,8 |

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 494-10**: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. West Conshohocken, PA, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1231 / C1231M**: Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken, PA, 2015.

ARAÚJO, José M. de. **Curso de Concreto Armado**. v 1. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados par concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 77**: Concreto – Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BORGES, Michelly L. **Avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais dosadoras, misturados em caminhão betoneira e de concretos produzidos em centrais misturadoras**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/650/1/Dissertacao%20Michelly%20L%20Borges%202009.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

BRESOLIN, Gustavo. **Influência das técnicas de cura na resistência do concreto e análise da incorporação de cal hidratada na técnica de cura por aspersão periódica de água**. 2016. 101 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2016. Disponível em:

<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1276/1/2016GustavoBresolin.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

CHIES, Josué A. et al. Avaliação do uso de Neoprene em ensaios de compressão do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 55., 2013, Gramado.

Anais... Gramado: IBRACON, 2013. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/283796345_Avaliacao_do_uso_do_neoprene_em_ensaios_de_compressao_do_concreto>. Acesso em: 02 abr. 2019.

CHIES, Josué A. **Corpos-de-prova submetidos à compressão**: Influência do tipo de preparação das faces para diferentes níveis de resistência do concreto. 2011. 91 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/39140>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

CHIES, Josué A. et al. Tratamentos superficiais em corpos-de-prova de concreto submetidos à compressão. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. São Paulo, v. 7, n. 5, set./out. 2014. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-41952014000500004&script=sci_arttext&tling=pt>. Acesso em: 02 abr. 2014.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 1. p. 483-526. E-book.

Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2019.

MASCOLO, Rafael. **Concreto usado**: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/75771>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NETO, Gilton C.; COELHO, Frederico M. A importância do correto adensamento do concreto e seu impacto na resistência final da peça. **Projectus**. Rio de Janeiro, v. 1, n.4, p. 17-30, out./dez. 2016. Disponível em:

<<http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/projectus/article/view/1183>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

NEVILLE, Adam M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, Hélio M. de. Cimento Portland. In: BAUER, F. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v. 1. p. 35-62.

PINTO, Roberto C. A.; HOVER, Kenneth C. **Frost and Scaling Resistance of High-Strength Concrete**. Skokie: Portland Cement Association, 2001, 75 p. Disponível em <http://www.cement.org/pdf_files/RD122.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2019.

RESENDE, Carlos. A forma de rompimento do CP é importante? **Concreto: Propriedades, descobertas e casos interessantes**. 2016. Disponível em: <<http://propriedadesdoconcreto.blogspot.com/2016/12/a-forma-de-rompimento-do-cp-e-importante.html>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

SILVA, Bruno A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto**. 2009. 48 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI003_Bruno_Silva.pdf> . Acesso em: 27 mar. 2019.

SOUZA, Gabriela G. **Influência dos procedimentos de ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos no controle de qualidade do concreto**. 2006. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30369994.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2019.